

CUBIERTAS VERDES EN ESTACIONES DE TRANSMILENIO

PRESENTADO POR:

JUAN FELIPE TINJACA UTIMA- 506920

ANDRES FELIPE RAMIREZ QUIROZ- 506906

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DOCENTE ASESOR:

Isabel Cristina Cerón Vinasco

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

2020



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

CONTENIDO

Pág.

LISTA DE TABLAS	5
LISTA DE FIGURAS	6
1. INTRODUCCIÓN	9
2. ESTADO DEL ARTE	11
3. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	31
3.1. Antecedentes	31
3.2. Justificación	32
4. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	34
5. MARCO DE REFERENCIA	40
5.1. Marco teórico	40
5.2. Marco conceptual	42
6. OBJETIVOS	44
6.1. General	44
6.2. Específicos	44
7. ALCANCES Y LIMITACIONES	45
7.1. Alcances	45
7.2. Limitaciones	45
8. METODOLOGÍA	46
9. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	47
9.1. Identificación de especies según zonas de estudio	47
9.1.1. Contaminantes	47
9.1.2. Precipitación	50
9.1.3. Especies Seleccionadas	57
9.1.4. Sustrato	66
9.2. Clasificación del tipo de cubierta	66
9.3. Desarrollo de un sistema constructivo sostenible	67
9.3.1. Especificaciones técnicas	67
9.3.2. Rendimiento	67
9.4. Impacto Ambiental	68
9.4.1. Estimación de absorción de contaminantes	70
9.5. Cálculo de costos	74
10. MODELO	76
11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	78
12. PRODUCTOS A ENTREGAR	78
13. INSTALACIONES Y EQUIPO REQUERIDO	79
13.1 Instalaciones	79

13.2 Equipo requerido	79
14. ANALISIS Y CONCLUSIONES	80
15. RECOMENDACIONES.....	82
16. BIBLIOGRAFÍA	83

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Instrumentos Jurídicos	13
Tabla 2. CONPES.....	17
TABLA 3. LISTADO DE ESPECIES APTAS PARA TECHOS VERDES	20
Tabla 4 Recopilación de Información.....	52
Tabla 5 Monitoreo de la Estación CSE	53
Tabla 6 Monitoreo de la Estación MAM	53
Tabla 7 Monitoreo de la Estación MOV	54
Tabla 8 Datos iniciales.....	75
Tabla 9 Cotización de las bandejas	75
Tabla 10 Cotización por metro cuadrado	75
Tabla 11 Productos a entregar.....	78

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Ilustración 1 Calanchoe	20
Ilustración 2 Helecho arbóreo	20
Ilustración 3 Anturio Blanco	21
Ilustración 4 Orquídea con flor de mazorca	21
Ilustración 5 Orquídea pecosa	22
Ilustración 6 Helecho pequeño.....	22
Ilustración 7 Helecho peine.....	23
Ilustración 8 Sedum	23
Ilustración 9 Tulbaga.....	24
Ilustración 10 Clivia.....	24
Ilustración 11 Diefembaquia	25
Ilustración 12 Orquídea estrella	25
Ilustración 13 Orquídea.....	26
Ilustración 14 Epidendrum	26
Ilustración 15 Clavel chino	27
Ilustración 16 Prescottia.....	27
Ilustración 17 Gazania	28
Ilustración 18 Helecho	28
Ilustración 19 Gomphichis.....	29
Ilustración 20 Anturio	29
Ilustración 21 Cyrtochilum.....	30

Ilustración 22 Pleurothallis	30
Ilustración 23 Clasificación climática.....	37
Ilustración 24 Promedio Mensual y Anual de Temperatura (°C)	38
Ilustración 25 Promedio Mensual y Anual de Temperatura (°C)	39
Ilustración 26 (a) Techo tradicional con capas convencionales; y (b) techo con capas de cubierta verde.....	42
Ilustración 27 Distribución de las estaciones de monitoreo	48
Ilustración 28 Variables monitoreadas para el año 2019	49
Ilustración 29 Distribución de las lluvias	50
Ilustración 30 Promedio mensual de precipitación.....	51
Ilustración 31 Distribución de RMCAB y estaciones de Transmilenio.....	52
Ilustración 32 Concentración Anual de PM10	54
Ilustración 33 Concentración Anual de PM2.5	55
Ilustración 34 Concentración Anual de O3.....	55
Ilustración 35 Concentración Anual de SO2	56
Ilustración 36 Concentración Anual de NO2	56
Ilustración 37 Concentración Anual de CO	57
Ilustración 38 Estación bosa	57
Ilustración 39 Sedum rupestre	59
Ilustración 40 Estación AV. Jiménez.....	60
Ilustración 41 Aguja Reptans	61
Ilustración 42 Estación calle 100.....	63
Ilustración 43 Kalanchoe thyrsiflor	64
Ilustración 44 Kalanchoe blossfeldiana.....	65

Ilustración 45 Elementos de la bandeja	68
Ilustración 46 Modelo	68
Ilustración 47 Asimilación de CO ₂ de planta CAM.....	69
Ilustración 48 Modelo de caja fija estacionaria	71
Ilustración 49 Emisiones vehiculares en Bogotá.....	71
Ilustración 50 Índice de emisiones vehiculares en Bogotá.....	72
Ilustración 51 Índice de emisiones por vehículo.....	73
Ilustración 52 dimensiones caja fija estacionaria	73
Ilustración 53 Limpieza por cubierta	74
Ilustración 54 Estación verde	76
Ilustración 55 Estación verde superior	77
Ilustración 56 Estación verde atrás	77
Ilustración 57 Cronograma-Elaborada por autores	78
Ilustración 58 Concentración e índice de contaminación	80

1. INTRODUCCIÓN

Alrededor del año 2006 nació World Green Infrastructure Network (WGIN), organización legalmente autorizada que se enfoca en usar la tecnología de construcción ecológica en beneficio al cambio climático. Necesitando un esfuerzo de cooperación mundial, este ente se encargó de fomentar el conocimiento y apoyo a las asociaciones nacionales con el fin de expandir y contribuir a un avance ecológico mundial por medio de la aceptación de membresía de naciones y empresas particulares que generan apoyo financiero en el congreso y comités de investigación para mitigar los impactos de la variabilidad climática y mejorar la habitabilidad urbana para comunidades globales ¹.

World Green Infrastructure Network actualmente representa a 22 asociaciones nacionales, entre las cuales se encuentra la Red Colombiana de Infraestructura Verde (RECIVE) que está aliada con la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de los Andes – Facultad de Administración, Pontificia Universidad Javeriana, la Universidad del Magdalena, la Secretaría Distrital de Ambiente, la Sociedad Colombiana de Arquitectos y la Fundación Cerros de Bogotá. Tales alianzas con el fin de promover techos verdes, jardines verticales y otras formas de Infraestructura Verde en el país. Buscando soluciones capaces de fomentar la equipación nacional sostenible y la difusión de estudios e información dentro de la industria, el gobierno, la academia y el sector privado²

Por otra parte, la ingeniería civil a lo largo de la historia ha logrado grandes hazañas dentro del desarrollo de la humanidad, que también ha desencadenado un gran impacto ambiental al planeta. En particular el desarrollo de infraestructuras, ha generado gran contaminación en los suelos, agua y aire ³Como ingenieros civiles y enterados de la situación actual de las condiciones

¹ WORLD GREEN INFRASTRUCTURE NETWORK “HISTORY”. {En línea}. {01 de ABRIL de 2020} disponible en:
(<https://worldgreeninfrastructurenetwork.org/page.php?id=17&parent=81>)

² Red Colombiana de infraestructura verde. (n.d.). *RESPALDO INTERNACIONAL*. <http://recive.org/about-us/>

³ Universidad Católica de Colombia. (2016). *IMPACTOS AMBIENTALES PRODUCIDOS POR EL USO DE MAQUINARIA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN*.
[https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/12566/4/IMPACTOS AMBIENTALES PRODUCIDOS POR EL USO DE MAQUINARIA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/12566/4/IMPACTOS%20AMBIENTALES%20PRODUCIDOS%20POR%20EL%20USO%20DE%20MAQUINARIA%20EN%20EL%20SECTOR%20DE%20LA%20CONSTRUCCION.pdf)

ambientales a nivel mundial, se presenta la necesidad de fomentar el desarrollo sostenible por medio de procesos que logren mejorar las condiciones bioclimáticas para que las futuras generaciones de profesionales puedan desarrollarse teniendo en cuenta la importancia del componente ambiental que muchas veces se pasa por alto.

2. ESTADO DEL ARTE

La actividad humana ha modificado la superficie de la Tierra y la composición de la atmósfera de una manera abrupta, y lo seguirá haciendo, debido a que la población seguirá expandiéndose como no se determine un control frente a esta situación. Estos cambios que el ser humano ha llevado haciendo durante años tienen repercusiones ya sea directa o indirecta en el balance energético de la Tierra, lo cual se evidencia en las afectaciones que actualmente se experimentan por el cambio climático.⁴

Es por esto, que hoy en día, el cambio climático se ha convertido en el mayor desafío para la humanidad, y de no actuar a tiempo, será demasiado difícil y costoso la adaptación a los efectos que se presentarán en un futuro⁵. En los últimos años, se han observado cambios en la atmósfera, los océanos, la criosfera, el nivel del mar, en el ciclo del carbono y otros ciclos biogeoquímicos; ahora, según el Quinto Informe de Evaluación, emitido por el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) en el año 2013:

- En los últimos tres decenios con respecto al 2012, la superficie de la Tierra ha sido sucesivamente más cálido ⁴
- Durante el periodo comprendido entre los años 1971 y 2010, la superficie de los océanos, aproximadamente los 75 m superiores se han calentado en 0.11°C por decenio ⁴
- Los niveles de hielo en el mundo han perdido masa, en los últimos dos decenios con respecto al 2012, en Groenlandia como en la Antártida, sus mantos de hielo se han ido reduciendo, por otro lado, los glaciares han reducido también sus masas de hielos y en el Ártico, tanto su hielo como el manto de nieve, han presentado también reducciones ⁴
- El nivel medio global del mar se ha ido elevando durante el periodo de 1901-2010, su elevación fue de 0.19 m. ⁴
- Las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y óxido nítrico han aumentado a partir de los últimos 800000 años. A partir de la

⁴ IPCC (Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático). Cambio climático 2013, bases físicas: Resumen para responsables de políticas. {En línea}. {13 agosto de 2020}. Disponible en (https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf)

⁵ ONU. Cambio climático. {En línea}. {12 septiembre de 2020} Disponible en: (from <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>)

era preindustrial, el CO₂ aumentó en un 40%, debido a las emisiones que emiten los combustibles fósiles y también se debe a las emisiones derivadas a los cambios de los usos de los suelos ⁴.

De acuerdo con lo anterior, la IPCC proyecta que para el futuro serán numerosos los efectos a los cuales la humanidad tendrá que verse sometido, la **atmósfera** afectará tanto las temperaturas como al ciclo del agua y a la calidad del aire, los **océanos** seguirán cada vez más calentándose durante el siglo XXI hasta que el calor penetre las capas más profundas de estos, de tal manera que afectará a la circulación oceánica, la **criosfera** seguirá reduciéndose en volumen proporcional al aumento de la temperatura media global en la superficie, a lo largo del siglo XXI, el **nivel medio del mar** seguirá aumentando, producto al calentamiento de los océanos y a la pérdida de volumen de los glaciares y mantos de hielo y es muy probable que el ritmo de elevación sea mayor al que se observó durante el periodo de 1971-2010 y finalmente el **ciclo del carbono y otros ciclos biogeoquímicos** se verán afectados de manera que se agudizara el aumento del CO₂ ⁴.

Debido a este gran desafío, como lo definió las Naciones Unidas, se llevaron a cabo los siguientes instrumentos jurídicos:

Tabla 1. Instrumentos Jurídicos

Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	Creada en 1992 por la Cumbre para la Tierra, se creó para afrontar la problemática ambiental. Tiene como objetivo dar una respuesta progresiva y eficaz a la amenaza del cambio climático. Son en total 197 países los que conforman esta Convención ⁶	http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/l09s.pdf
Protocolo de Kyoto	Surge en el 1997, para fortalecer la respuesta mundial al cambio climático, obligando jurídicamente a los países desarrollados que pertenecen a este, a cumplir con unas metas de reducción de emisiones. Son 192 países que participan en este protocolo ⁷ .	https://doi.org/10.1145/115790.115803
Acuerdo de Paris	Este acuerdo agrupa a todas las naciones bajo una misma causa que es la de llevar a cabo ambiciosos esfuerzos con el objetivo de combatir el cambio climático y de adaptarse a sus efectos ⁸ .	https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html

Tomado de: Fuente Propia

El cambio climático conlleva grandes repercusiones, como por ejemplo que los recursos hídricos disminuyen con el paso del tiempo, la diversidad biológica como los ecosistemas naturales también se verán gravemente afectados, pues poco a poco se irán perdiendo. Se aumentarán los procesos de erosión de los suelos y se presentarán pérdidas de vidas, todo esto producto de eventos

⁶ NACIONES UNIDAS. (2016). Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 21^{er} período de sesiones, celebrado en París del 30 de noviembre al 13 de diciembre de 2015. {En línea}. {23 de 2020}. Disponible en (<http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/l09s.pdf>)

⁷ CHRYSANTHIS, Panos., RAGHURAM, S., & RAMAMRITHAM, Krithi. Extracting concurrency from objects: A methodology. En: *Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, Vol 61702. (1991). Pág. 108–117.

⁸ ONU. Objetivos De Desarrollo Sostenible. Objetivo 11 - Ciudades y comunidades sostenibles. 2020

climáticos severos, como, por ejemplo, las inundaciones, debido al aumento del nivel del mar, incendios forestales y olas de calor. También se espera que la calidad del agua se vea afectada, y de esta manera, los alimentos se verán afectados en cuanto a la cantidad y calidad. Por otro lado, se prevé que la salud humana se vea afectada mediante la presencia de enfermedades infecciosas y respiratorias, y en este sentido, las enfermedades infecciosas se darán debido a la calidad del agua y de los alimentos y las enfermedades respiratorias debió a la calidad del aire⁹.

En Colombia, se encuentra que, según el IDEAM, el país está categorizado como altamente vulnerable al cambio climático, pero tan solo un 15,5% de su área nacional se encuentran en el rango de vulnerabilidad alta, regiones como la Pacífica y la Amazonia son puntos a los cuales se le deben prestar atención al ser estas muy susceptibles al cambio climático. Por otro lado, el PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) asegura que países en vía de desarrollo, tales como Colombia, son los principalmente afectados por el cambio climático. En cuanto a Bogotá, ciudad la cual será objeto de estudio para la realización de este proyecto, es categorizada por el IDEAM como una ciudad con riesgo alto por el cambio climático, debido a que la capital es una ciudad la cual alberga un gran número de habitantes, lo cual la categoriza con un nivel de complejidad más alto ¹⁰

Debido a la situación climática que se agrava con el tiempo y en respuesta a ello, se encuentra que en Bogotá D.C. existen las normas básicas fundamentales para la preservación y cuidado del patrimonio ecológico, medio ambiente y recursos naturales, el Decreto 322 de 1994, implementa el Sistema Ambiental de la Capital y conforma la estructura del Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente, así como las funciones de las diferentes entidades del estado que pueden ejecutarse bajo del SIAC ¹¹

⁹ TIRADO BLÁZQUEZ, María. Cambio climático y salud. Informe SESPAS. En: *Gaceta Sanitaria*, Vol 24. (2010). Pág. 78–84

¹⁰ CONCEJO DE BOGOTÁ. *Bogotá: Entre las Ciudades con Mayor Riesgo por el Cambio Climático*. {En línea}. {8 septiembre de 2020} Disponible en (<http://concejodebogota.gov.co/bogota-entre-las-ciudades-con-mayor-riesgo-por-el-cambio-climatico/cbogota/2019-02-21/143027.php>)

¹¹ Alcaldía de Bogotá. (1994). *Decreto 322 de 1994 Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C.*
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=2108&dt=S>

El acuerdo 19 de 1996 Concejo de Bogotá D.C.¹² tiene como prioridad el cuidado y mejoramiento del medio ambiente y es por el cual se crean los objetivos y políticas de gestión ambiental, este documento se divide en 5 capítulos y cuenta con 16 artículos, los cuales se dividen por temas de la siguiente forma:

- Artículos 1-3, Acerca de los objetivos y prioridades en el mejoramiento de la calidad del medio ambiente.
- Artículos 4-8, Trata la definición y funcionamiento del sistema ambiental del Distrito Capital SIAC, detallando las diferentes funciones de cada una de las entidades distritales.
- Artículos 9-12, donde se definen las Normas y estándares ambientales, además de explicar las autoridades competentes para su expedición con su respectiva clasificación.
- Artículos 12-14, donde se clasifican los tipos de sistemas de áreas protegidas con sus respectivas normas.
- Artículo 15, en el que se trata los casos de estados de alarma ambiental con las respectivas prevenciones y emergencias.
- Artículo 16, vigencia.

En 2002 nace el Acuerdo 61 en el Concejo de Bogotá D.C, por el cual la administración distrital y en conjunto con el SIAC y secretaría de educación busca implementar talleres dentro del sistema educativo que fomenten las buenas prácticas con el medio ambiente, enfocados en buscar una cultura sostenible con el uso del reciclaje ¹³

Con respecto al desarrollo sostenible dentro la movilidad ciudadana, nace el acuerdo 248 de 2006 del concejo de Bogotá, por el cual se crea y se define la dirección de prevención de emergencias, además de llamar a la secretaría de tránsito y transportes, y Transmilenio S.A. para desempeñar cargos en función de la materia ambiental ¹⁴

¹² Alcaldía de Bogotá. (1996). *Acuerdo 19 de 1996 Concejo de Bogotá D.C.*
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=506>

¹³ Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2002). *Resolución 2888 de 2005 Ministerio de Transporte*. Diario Oficial 48242 Del 3 de Noviembre de 2011.
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=17985#2>

¹⁴ Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2006). *Acuerdo 248 de 2006 Concejo de Bogotá D.C.* Diario Oficial 48242 Del 3 de Noviembre de

En el año 2008 se reforma el plan de gestión ambiental en la capital del país, mediante el Decreto 456 de 2008 Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C. por el cual se nombra a la Secretaría Distrital de Ambiente y la Comisión Intersectorial como coordinadoras del sistema ambiental (SIAC) en cara de mejorar la sostenibilidad, teniendo en cuenta el ecourbanismo y el cuidado animal¹⁵

La adopción de un plan de investigación ambiental en el país surge en el año 2012, hace parte de una estrategia ambiental elaborada con las entidades distritales, instituciones de educación superior y centros de investigación de la ciudad con el objetivo de establecer prioridades en el sistema de investigación que contribuyan con el aprovechamiento sostenible de ecosistemas ¹⁶

De acuerdo con la problemática ambiental, y a cada una de esas repercusiones ambientales que Colombia ha sufrido, el Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) emitió las siguientes políticas:

2011.

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=22235&dt=S>

¹⁵ Alcaldía de Bogotá. (2008). *Decreto 456 de 2008 Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C.*

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=34284&dt=S>

¹⁶ Alcaldía de Bogotá. (2012). *Resolución 6562 de 2011 Secretaría Distrital de Ambiente.*

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=45256&dt=S>

Tabla 2. CONPES

CONPES No. 3451 de 2006 Estrategia para el manejo ambiental de la cuenca Ubaté – Suarez	Este documento somete a consideración del CONPES una serie de medidas las cuales van encaminadas a recuperar y conservar el ecosistema lagunar de Fúquene, Cucunubá y Palacio ¹⁷	Departamento Nacional de Planeación. (2006, 7 de diciembre). <i>Estrategia para el manejo ambiental de la cuenca Ubaté - Suarez</i> (Documento CONPES 3451). Bogotá D.C; Colombia: DNP.
CONPES No. 3801 de 2014 Manejo Ambiental Integral de la Cuenca Hidrográfica del Lago de Tota	Propiciar una gestión integral de los servicios ecosistémicos y de las dinámicas socioeconómicas que se desarrollan en la cuenca del Lago de Tota mediante escenarios de sostenibilidad, el ordenamiento ambiental, social y productivo. ¹⁸	Departamento Nacional de Planeación. (2014, 31 de enero). <i>Manejo Ambiental Integral de la Cuenca Hidrográfica del Lago de Tota</i> . (Documento CONPES 3801). Bogotá D.C; Colombia: DNP

¹⁷ DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (2006, 7 de diciembre). *Estrategia para el manejo ambiental de la cuenca Ubaté - Suarez* (Documento CONPES 3451). Bogotá D.C; Colombia: DNP

¹⁸ DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (2014, 31 de enero). *Manejo Ambiental Integral de la Cuenca Hidrográfica del Lago de Tota*. (Documento CONPES 3801). Bogotá D.C; Colombia: DNP

Continuación Tabla 2

CONPES No. 3803 de 2014 Política para la Preservación del Paisaje Cultural Cafetero de Colombia	Este documento tiene como objetivo formular una política específica para el PCCC con el propósito de garantizar la preservación de su Valor Universal Excepcional y así mejorar las condiciones para la sostenibilidad ambiental, cultural, social y económica del territorio. ¹⁹	Departamento Nacional de Planeación. (2014, 13 de febrero). <i>Política para la Preservación del Paisaje Cultural Cafetero de Colombia</i> . (Documento CONPES 3803). Bogotá D.C; Colombia: DNP
CONPES No. 3915 de 2018 Lineamientos de política y estrategias para el desarrollo regional sostenible del Macizo Colombiano	Implementar un modelo de desarrollo regional integral que impulse el desarrollo productivo sostenible y la conservación de los ecosistemas del Macizo colombiano ²⁰	Departamento Nacional de Planeación. (2018, 16 de enero). <i>Lineamientos de política y estrategias para el desarrollo regional sostenible del Macizo Colombiano</i> . (Documento CONPES 3915). Bogotá D.C; Colombia: DNP

¹⁹ DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (2014, 13 de febrero). *Política para la Preservación del Paisaje Cultural Cafetero de Colombia*. (Documento CONPES 3803). Bogotá D.C; Colombia: DNP

²⁰ DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (2018, 16 de enero). *Lineamientos de política y estrategias para el desarrollo regional sostenible del Macizo Colombiano*. (Documento CONPES 3915). Bogotá D.C; Colombia: DNP

Continuación Tabla 2

CONPES No. 3934 de 2018 Política de Crecimiento Verde	Impulsar a 2030 el aumento de la productividad y la competitividad económica del país, al tiempo que se asegura el uso sostenible del capital natural y la inclusión social, de manera compatible con el clima. ²¹	Departamento Nacional de Planeación. (2018, 10 de julio). <i>Política de Crecimiento Verde</i> (Documento CONPES 3934). Bogotá D.C; Colombia: DNP
CONPES No. 3943 de 2018 Política para el Mejoramiento de la Calidad del Aire	Reducir la concentración de contaminantes en el aire que afectan la salud y el ambiente. ²²	Departamento Nacional de Planeación. (2018, 31 de julio). <i>Política para el Mejoramiento de la Calidad del Aire</i> (Documento CONPES 3943). Bogotá D.C; Colombia: DNP

Tomado de: Fuente Propia

Se debe entender que el cambio climático que se experimenta actualmente es producto de la actividad humana, la necesidad actual de crecimiento de las ciudades, así como sus infraestructuras, con el fin de cada vez más albergar más y más personas, conlleva a que vaya desapareciendo los espacios verdes y que la naturaleza desaparezca a cambio de edificaciones, o que se mezcle en medio de estas. El problema de esta situación es que en las ciudades ya no se respira la misma calidad de aire, se presentan aumentos en las temperaturas y variaciones en los periodos de lluvia y sequía. Es por esto que la implementación de jardines verticales, cubiertas verdes, son estrategias que permiten mitigar efectos de islas de calor en las ciudades, limpiar el aire y otros más beneficios.²³

²¹ DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (2018, 10 de julio). *Política de Crecimiento Verde* (Documento CONPES 3934). Bogotá D.C; Colombia: DNP

²² DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (2018, 31 de julio). *Política para el Mejoramiento de la Calidad del Aire*. (Documento CONPES 3943). Bogotá D.C; Colombia: DNP
DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN.



²³ Secretaria de Ambiente. (2015). *Guía de techos verdes y jardines verticales*. https://issuu.com/sda2015/docs/gu__a_de_techos_verdes_y_jardines_v_f4988c2a8cc627

Es por esto que la Secretaria de Ambiente ha desarrollado la campaña “Una piel natural de Bogotá”, para la cual ha suministrado para aquellos que quieran implementar estas tecnologías, mediante la “Guía de techo verdes y jardines verticales”²² en la cual presenta un listado sugerido de plantas nativas, las cuales son las más recomendadas, y estas son:



TABLA 3. LISTADO DE ESPECIES APTAS PARA TECHOS VERDES

<p>Ilustración 1 Calanchoe</p>  <p><i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i></p>	Nombre científico	Kalanchoe blossfeldiana
	Nombre común	Coralito, Kalanchoe y Calanchoe
	DESCRIPCIÓN	
	Alcanza entre los 30 a 40 cm de altura	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Tierra de jardín con arena o abono orgánico con triturado de ladrillo
	Tipo de cubierta	Techo biótico autorregulado
	Agua	Requiere poco riego
	Ambiente y exposición solar	Requiere abundante luz; se debe crear un ambiente húmedo de forma indirecta
	Mantenimiento	Requiere poco mantenimiento
<p>Ilustración 2 Helecho arbóreo</p>  <p><i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i></p>	Plagas	Resistente a plagas y enfermedades, pero sensible a pudriciones por riego excesivo
	Nombre científico	Cyathea bicrenata
	Nombre común	Helecho arbóreo
	DESCRIPCIÓN	
	Alcanza entre 1 a 6 m de altura	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Drenado; contenido en nutrientes medio-alto; húmedo o fresco
	Tipo de cubierta	Techo biótico ajardinado
	Agua	Riego abundante
	Ambiente y exposición solar	Abundante luz, temperaturas entre 7 y 15°C; no tolera ambientes secos o cerrados
	Mantenimiento	Proteger del frío las plantas jóvenes
	Plagas	El follaje joven es susceptible al ataque de babosas y caracoles



Continuación Tabla 3

<p>Ilustración 3 Anturio Blanco</p>  <p><i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i></p>	Nombre científico	Spathiphyllum wallisii
	Nombre común	Anturio Blanco, espatifilo
	DESCRIPCIÓN	
	Planta herbácea perenne de hasta 40 cm de altura	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Tierra de jardín muy suelta con mezcla de arena
	Tipo de cubierta	Techo biótico ajardinado
	Agua	Riego frecuente, al menos 3 veces por semana durante el periodo de máxima actividad
	Ambiente y exposición solar	Bien iluminada pero no directamente al sol, necesita humedad ambiental, evitar corrientes de air
	Mantenimiento	Fertilizar cada 20 días durante su floración
<p>Ilustración 4 Orquídea con flor de mazorca</p>  <p><i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i></p>	Plagas	Ácaros, pulgón, mosca blanca, hongos y araña roja si el ambiente es muy seco
	Nombre científico	Elleanthus wagneri
	Nombre común	Orquídea con flor de mazorca
	DESCRIPCIÓN	
	Planta terrestre o epífita con raíz carnosa, tallo simple o ramificado	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Carbón, suelos bien drenados con mucha materia orgánica
	Tipo de cubierta	Techo biótico ajardinado
	Agua	Requieren de gran humedad
	Ambiente y exposición solar	Lugares bien iluminados, con temperatura de 12 a 18 grados, aguanta gran diferencia de temperaturas, pero no heladas
	Mantenimiento	Requiere poco mantenimiento
	Plagas	Pulgones y cochinillas



Continuación Tabla 3

<p>Ilustración 5 Orquídea pecosa</p>  <p><i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i></p>	Nombre científico	Sternorrhynchus speciosa
	Nombre común	Orquídea pecosa
	DESCRIPCIÓN	
	Planta terrestre raramente epífita	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Recomendable un sustrato poroso y que permanezca aireado
	Tipo de cubierta	Techo biótico ajardinado
	Agua	Dos veces por semana en verano y una vez por semana en invierno
	Ambiente y exposición solar	Lugares bien iluminados, aguanta gran diferencia de temperaturas, pero no heladas
	Mantenimiento	Conveniente cortar las inflorescencias viejas
<p>Ilustración 6 Helecho pequeño</p>  <p><i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i></p>	Plagas	Pulgón, babosas y caracoles, cochinillas
	Nombre científico	Asplenium praemorsum
	Nombre común	Helecho pequeño
	DESCRIPCIÓN	
	Planta rupícola o epífita; las hojas pueden alcanzar hasta 50 cm de longitud	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Preferiblemente suelos arenosos, ligeros o porosos; ricos en humus y bien drenados
	Tipo de cubierta	Techo biótico ajardinado
	Agua	Riego abundante, evitar la sequedad de la tierra. Evitar el riego del cogollo con el fin de prevenir pudriciones
	Ambiente y exposición solar	No se recomienda exposición directa al sol, no tolera ambientes secos, ni corrientes de aire
	Mantenimiento	Fertilización en época de crecimiento cada 10 días aproximadamente
	Plagas	Son relativamente resistentes a las plagas



Continuación Tabla 3

Ilustración 7 Helecho peine  <i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i>	Nombre científico	Nephrolepis sp
	Nombre común	Helecho peine
	DESCRIPCIÓN	
	Planta carente de tronco	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Preferiblemente suelos arenosos, ligeros o porosos, ricos en humus y bien drenados
	Tipo de cubierta	Techo biótico ajardinado
	Agua	Riego abundante. Evitar el riego del cogollo con el fin de prevenir pudriciones
	Ambiente y exposición solar	No se recomienda exposición directa al sol, no tolera ambientes secos, ni corrientes de aire
	Mantenimiento	Fertilización en época de crecimiento cada 10 días aproximadamente
Ilustración 8 Sedum  <i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i>	Plagas	Son relativamente resistentes a las plagas
	Nombre científico	Sedum sp
	Nombre común	Sedum
	DESCRIPCIÓN	
	De porte erguido que puede alcanzar 30-60 cm	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Tierra normal de jardín mezclada con arena lavada y tierra arcillosa
	Tipo de cubierta	Techo biótico auto regulado
	Agua	Riego moderado y poco frecuente
	Ambiente y exposición solar	Plantar al sol o semisombra en lugares bien iluminados
	Mantenimiento	Fertilización en época de crecimiento cada 10 días aproximadamente
	Plagas	Resistentes a plagas y enfermedades, pero pueden ser afectadas por hongos



Continuación Tabla 3

<p>Ilustración 9 Tulbaga</p>  <p><i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i></p>	Nombre científico	Tulbaghia fragrans
	Nombre común	Tulbagia
	DESCRIPCIÓN	
	Alcanza una altura entre 40 y 60 cm	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Suelo rico, drenado; ácido, neutro o alcalino
	Tipo de cubierta	Techo biótico ajardinado
	Agua	Riego regular, mínimo 2 veces por semana
	Ambiente y exposición solar	Indicada para sitios con plena exposición solar, tolera sombra parcial y heladas moderadas
	Mantenimiento	Fertilizar durante la etapa de establecimiento o cuando se considere necesario
<p>Ilustración 10 Clivia</p>  <p><i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i></p>	Plagas	Resistente al ataque de plagas, sin embargo, tener cuidado con los caracoles y babosas
	Nombre científico	Clivia miniata
	Nombre común	Clivia
	DESCRIPCIÓN	
	Planta herbácea perenne no bulbosa	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Tierra de bosque de buena calidad
	Tipo de cubierta	Techo biótico ajardinado
	Agua	Riego abundante, al menos 1 vez por semana
	Ambiente y exposición solar	Poco resistente al frío, requiere buena iluminación, permanecer siempre a la sombra
	Mantenimiento	Moderado
	Plagas	Cochinilla algodonosa, hongos y roya



Continuación Tabla 3

<p>Ilustración 11 Diefembaquia</p>  <p><i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i></p>	Nombre científico	Dieffenbachia sp
	Nombre común	Diefembaquia
	DESCRIPCIÓN	
	Planta perenne de tronco grueso, carnosos y erguido	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Mezcla, suelta, de turba con cortezas o tierra vegetal y arena de río
	Tipo de cubierta	Techo biótico ajardinado
	Agua	Riego de 2 o 3 veces por semana
	Ambiente y exposición solar	Lugares bien iluminados, pero no directamente a los rayos del sol
	Mantenimiento	Fertilizar durante la etapa de establecimiento
<p>Ilustración 12 Orquídea estrella</p>  <p><i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i></p>	Plagas	La araña roja, cochinilla algodonosa, pulgones, trips, hongos
	Nombre científico	Epidendrum elongatum
	Nombre común	Epidendrum, Orquídea estrella
	DESCRIPCIÓN	
	Se caracteriza por unas grandes inflorescencias que llevan docenas de flore diminutas	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Sustrato poroso y que permanezca aireado
	Tipo de cubierta	Techo biótico ajardinado
	Agua	Dos veces por semana en verano y una vez por semana en invierno
	Ambiente y exposición solar	Lugares bien iluminados, aguanta gran diferencia de temperaturas, pero no heladas
	Mantenimiento	Cortar las inflorescencias viejas
	Plagas	Pulgón, babosas y caracoles, cochinillas



Continuación Tabla 3

<p>Ilustración 13 Orquídea</p>  <p><i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i></p>	Nombre científico	Masdevallia coriacea
	Nombre común	Orquídea
	DESCRIPCIÓN	
	Plantas epífitas, terrestres o litófitas	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Corteza fina y musgo
	Tipo de cubierta	Techo biótico ajardinado
	Agua	Riego moderado, 2 veces por semana
	Ambiente y exposición solar	Pleno sol, pero no muy intenso, requiere humedad ambiental de aproximadamente 60%
	Mantenimiento	Fertilización 1 o 2 veces al mes
<p>Ilustración 14 Epidendrum</p>  <p><i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i></p>	Plagas	Pulgonos y cochinillas
	Nombre científico	Epidendrum chioneum
	Nombre común	Epidendrum
	DESCRIPCIÓN	
	Planta terrestre de hojas simples sésiles	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Sustrato poroso y que permanezca aireado
	Tipo de cubierta	Techo biótico ajardinado
	Agua	Dos veces por semana en verano
	Ambiente y exposición solar	Lugares bien iluminados, aguanta gran diferencia de temperaturas, pero no heladas
	Mantenimiento	Conveniente cortar las inflorescencias viejas
	Plagas	Pulgón, babosas y caracoles, cochinillas y ácaros



Continuación Tabla 3

<p>Ilustración 15 Clavel chino</p>  <p><i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i></p>	Nombre científico	Lampranthus roseus
	Nombre común	Bella a las once, Clavel chino, rayito de sol
	DESCRIPCIÓN	
	Planta herbácea, perenne, rastrera, de 40 cm de alto	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Admite cualquier terreno drenado
	Tipo de cubierta	Techo biótico auto regulado
	Agua	Requiere de poco riego, una vez a la semana
	Ambiente y exposición solar	Tolera plena exposición solar, resiste hasta -6°C
	Mantenimiento	Fertilización en época de floración cada 20 días aproximadamente
<p>Ilustración 16 Prescottia</p>  <p><i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i></p>	Plagas	Resistente a plagas y enfermedades
	Nombre científico	Prescottia stachyodes
	Nombre común	Prescotia
	DESCRIPCIÓN	
	Planta terrestre de mediano tamaño, entre 30 y 40 cm	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Sustrato de cultivación medianamente drenado
	Tipo de cubierta	Techo biótico ajardinado
	Agua	Requiere suelos húmedos. Regar con regularidad cada 1-2 veces en la semana
	Ambiente y exposición solar	Lugares bien iluminados, con sol indirecto o parcial
	Mantenimiento	Fertilizar durante la etapa de establecimiento
	Plagas	Pulgón, babosas y caracoles, cochinillas y ácaros



Continuación Tabla 3

<p>Ilustración 17 Gazania</p>  <p><i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i></p>	Nombre científico	Gazania splendens
	Nombre común	Gazania
	DESCRIPCIÓN	
	Planta perenne que alcanza una altura 20-25 cm	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Ligero, arenoso
	Tipo de cubierta	Techo biótico ajardinado
	Agua	Riegos no demasiado abundantes, cada 3 o 4 días
	Ambiente y exposición solar	Las temperaturas ideales son entre 2 a 8°C durante la noche y de 25 a 30°C en el día
	Mantenimiento	Retirar hojas y flores marchitas
<p>Ilustración 18 Helecho</p>  <p><i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i></p>	Plagas	Thrips, pulgón y minador; y enfermedades como Pythium y la Rhizoctonia
	Nombre científico	Elaphoglossum sp
	Nombre común	Helecho
	DESCRIPCIÓN	
	Planta terrestre o rupícola	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Preferiblemente suelos arenosos, ligeros o porosos; rico en humus y bien drenados
	Tipo de cubierta	Techo biótico ajardinado
	Agua	Riego abundante
	Ambiente y exposición solar	Ambientes bien iluminados o semisombra, no tolera ambientes secos, ni corrientes de aire
	Mantenimiento	Eliminación de hojas secas y fertilización en época de crecimiento cada 10 días aprox.
	Plagas	Son relativamente resistentes a las plagas

Continuación Tabla 3

<p>Ilustración 19 Gomphichis</p>  <p><i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i></p>	Nombre científico	Gomphichis cundinamarcae
	Nombre común	Gomphichis
	DESCRIPCIÓN	
	Plantas terrestres en ocasiones epífitas	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Sustrato poroso y que permanezca aireado
	Tipo de cubierta	Techo biótico ajardinado
	Agua	Dos veces por semana en verano y una vez por semana en invierno
	Ambiente y exposición solar	Lugares bien iluminados, con sol indirecto o parcial
	Mantenimiento	Fertilizar durante la etapa de establecimiento
<p>Ilustración 20 Anturio</p>  <p><i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i></p>	Plagas	Pulgón, babosas y caracoles, cochinillas y ácaros
	Nombre científico	Anthurium patulum
	Nombre común	Anturio
	DESCRIPCIÓN	
	Planta perenne, erectas, trepadoras	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Tierra de jardín muy suelta con mezcla de arena
	Tipo de cubierta	Techo biótico ajardinado
	Agua	Riego abundante, 2 o 3 veces por semana
	Ambiente y exposición solar	Lugares bien iluminados, pero no expuestos directamente a los rayos de sol
	Mantenimiento	Fertilizar durante la etapa de establecimiento
	Plagas	La araña, cochinilla algodonosa, pulgones, hongos y bacterias

Continuación Tabla 3

<p>Ilustración 21 Cyrtochilum</p>  <p><i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i></p>	Nombre científico	Cyrtochilum revolutum
	Nombre común	Cyrtochilum
	DESCRIPCIÓN	
	Planta perenne	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Techo biótico ajardinado
	Tipo de cubierta	Dos veces por semana en verano y una vez por semana en invierno
	Agua	Lugares bien iluminados
	Ambiente y exposición solar	Lugares bien iluminados, aguanta gran diferencia de temperaturas, pero no heladas
	Mantenimiento	Cortar las inflorescencias viejas
<p>Ilustración 22 Pleurothallis</p>  <p><i>Tomado de: Guía de Techos verdes y Jardines Verticales</i></p>	Plagas	Pulgón, babosas y caracoles, cochinillas y ácaros
	Nombre científico	Pleurothallis pulchella
	Nombre común	Pleurothallis
	DESCRIPCIÓN	
	Planta terrestre o epifitas	
	REQUERIMIENTOS	
	Sustrato	Sustrato poroso y que permanezca aireado
	Tipo de cubierta	Techo biótico ajardinado
	Agua	Dos veces por semana en verano y una vez por semana en invierno
	Ambiente y exposición solar	Lugares bien iluminados, con sol indirecto o parcial
	Mantenimiento	Fertilizar durante la etapa de establecimiento
	Plagas	Pulgón, babosas y caracoles, cochinillas y ácaros

Tomado de: Fuente Propia

3. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

3.1. Antecedentes

- Situándonos dentro de los estudios a nivel nacional, con el fin de contextualizar la investigación que se desea llevar a cabo, se presentan a continuación los avances en materia ambiental para el diseño de estructuras sostenibles.
- La Guía Técnica de Techos Bióticos de Bogotá, publicada por la Secretaría Distrital de Ambiente en el año 2012 en busca de promover una estrategia que mejore la calidad del medio ambiente. A través de esta guía se transmiten los conocimientos y requerimientos técnicos para el buen funcionamiento de los sistemas de techos verdes.
- Techos Vivos Extensivos: Una práctica sostenible para descubrir e investigar en Colombia. Ibáñez Gutiérrez, Andrés, Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2009: Este documento define sistemas de cubiertas verdes con el objeto de incentivar su uso en la infraestructura colombiana presentando las ventajas económicas, además explica con ejemplos las causas que alteran factores climáticos, recursos, desechos, zonas verdes y expresa los beneficios ambientales, estéticos y psicológicos.
- Además de solo generar estructuras que sean capaces de mantener vivas las plantas, también se ha optado por crear sistemas combinados sostenibles como lo es con la Evaluación de una cubierta verde como sistema de drenaje urbano sostenible, realizada por Eduardo Alfonso León Fandiño, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, 2012, por medio del cual desarrolla una modelación numérica para estimar los caudales de salida de una cubierta verde monitoreando la precipitación sobre cubiertas de prueba instalados en la Universidad Nacional, para el cual evaluó los resultados dependiendo de la pendiente y los tipos de sistemas usados.
- Avance en normatividad con el acuerdo 418 de 22 de diciembre de 2009 que promueve la implementación de infraestructura y tecnologías sostenibles como las cubiertas verdes, por medio de la divulgación del conocimiento y sugiere contemplar el equipamiento de este tipo dentro de sus diseños, para el cual la Secretaria Distrital de Ambiente y el Jardín Botánico José Celestino Mutis brindarán asesoría y soporte cuando se necesite.

- Colombia ahora cuenta con una amplia red de miembros que instala infraestructura sostenible, difunde el conocimiento de las tecnologías y estrategias adquiridas a través de los diferentes estudios (FUNDACIÓN SELVA HUMANA) y que proveen insumos verdes (SEMPER GREEN) y no verdes (SIKA):

Instaladores de infraestructura verde

- ARQUITECTURA MÁS VERDE
 - GRONCOL
 - HELECHO ECOTELHADO
 - JARDINES CONTRASEÑA
 - HÁBITATS VIVOS
 - VERTIN
 - PACTO PLANETA
 - ALEX BOLÍVAR PAISAJISMO
- La implementación de sistemas constructivos sostenibles ha contribuido con cantidad de áreas de vegetación plantada, desde el año 2008.

3.2. Justificación

La implementación de infraestructura verde en las cubiertas de las estaciones de Transmilenio S.A; además de cumplir con los objetivos enmarcados del acuerdo 418 de 2009 de contemplar dentro de los diseños tecnologías sostenibles, también genera un avance dentro del desarrollo social y económico en la capital, debido a que según Ricardo Andrés Ibáñez Gutiérrez en su trabajo de Techos vivos extensivos²⁴ expresa que “en materia ambiental, los techos verdes son capaces de capturar agua que puede ser absorbida y drenada a velocidades bajas, además, las plantas sirven como filtro capaz de reducir los niveles de contaminación en este recurso vital”. La instalación de estas en las estaciones de Transmilenio generaría una serie de ventajas, algunas de ellas antes mencionadas, pero cabe resaltar que la ciudad tendría una calidad paisajística del entorno que los ciudadanos ven a diario al mismo tiempo que se mejora la calidad de aire y se reduce la contaminación auditiva.

Además de beneficios a nivel ambiental y estético, las visualizaciones de entornos verdes influyen en la salud física y mental de las personas lo que sería un factor importante para considerar a la hora de atacar el estrés desde uno de los orígenes de la ciudad con las largas esperas y la acumulación de personas en

²⁴ Ricardo Andrés Ibáñez Gutiérrez. (2008). *Techos vivos extensivos una práctica sostenible por descubrir e investigar en Colombia*.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3195349>

un mismo lugar, disminuyendo así los problemas sociales ocasionales entre los usuarios de Transmilenio S.A.

A nivel mundial, el proyecto se encuentra alineado al cumplimiento de las metas del ODS 11, ciudades y comunidades sostenibles en el marco de la Agenda 2030. Prestando especial atención en la meta 11.6 que establece “reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo” ²⁵

²⁵ ONU. Cambio climático. {En línea}. {12 septiembre de 2020} Disponible en: (from <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>)

4. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

De acuerdo al concejo de Bogotá, la capital hace parte de las ciudades con mayor riesgo por los efectos debidos al cambio climático, por lo cual recomienda a los ciudadanos e industrias tomar medidas que mitiguen este fenómeno, ya que el alto deterioro de los recursos naturales y la falta de conciencia de la ciudadanía podrían conllevar a un destino ambiental preocupante, una proyección al 2040 según la Organización Mundial de la Salud (OMS), asegura que las pérdidas en la naturaleza de especies de plantas y animales, repercute en la salud humana, además de la desestabilidad climática.²⁶

Actualmente, en Colombia los fenómenos de incendios forestales son más frecuentes en el país, y sumado a las emisiones contaminantes que dejan las industrias y la circulación de vehículos públicos, privados y de carga, la calidad del aire se ha encontrado en lo que va de recorrido el año 2020 en pésimas condiciones como lo afirma noticias El Tiempo ²⁷con una potente entrada de material particulado que ha levantado nuevamente la alerta amarilla en el distrito capital el pasado 6 de marzo²⁸

Ante la situación ambiental de la ciudad de Bogotá, la Secretaría Distrital de Ambiente ha tomado varias medidas estratégicas para ayudar a mitigar los gases de efecto invernadero además de lanzar campañas que incentiven el cuidado al medio ambiente dentro de las cuales se encuentra “una piel natural para Bogotá”, socialización realizada en el año 2013 con el fin de incentivar la instalación de techos y jardines verticales verdes, de la cual nace la guía del estado de estos,

²⁶ OMS. 10 datos sobre el cambio climático y la salud. {En línea}. {12 septiembre de 2020} Disponible en:
https://www.who.int/features/factfiles/climate_change/es/

²⁷ El Tiempo. (2020). *Calidad del aire, un dolor de cabeza para las capitales de Colombia*. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/calidad-del-aire-en-colombia-asi-esta-la-alerta-en-las-capitales-462820>

²⁸ Secretaría de movilidad de Bogotá. (2020). *Alerta amarilla por la calidad del aire en Bogotá*.
https://www.movilidadbogota.gov.co/web/noticia/alerta_amarilla_por_la_calidad_del_aire_en_bogota

junto con información de investigaciones y requerimientos de implementación, publicada en el año 2015 que hasta el momento no se ha actualizado ²⁹

Los principales problemas ambientales de la ciudad, según Gerardo Ardila, Egresado del departamento de Antropología de la Universidad Nacional de Colombia con doctorado en Ecología humana de la Universidad de Kentucky en los Estados Unidos, radican en la expansión de la ciudad, que a su vez genera destrucción de la huella verde y la invasión de los cerros³⁰, como se vio en el año 2017, en el barrio la Nueva Colombia, lugar donde se talaron árboles pertenecientes a la reserva forestal mediante un documento, al parecer falso, afirma el periódico El espectador ³¹, estos actos claramente reducen la huella verde por lo cual es importante crear medidas de compensación.

¿Qué estrategia podría compensar la disminución de la huella de carbono debido a la implementación de las infraestructuras para el transporte público en la ciudad?

Esta propuesta consiste en implementar cubiertas verdes en la infraestructura de las estaciones de Transmilenio, tomando como base la estación Avenida Jiménez, siendo una de las más concurridas de acuerdo con Noticias Caracol, con casi 40000 entradas diarias³² con cubierta de un área aproximada a los 630

²⁹ Secretaria de Ambiente. (2015). *Guía de techos verdes y jardines verticales*. https://issuu.com/sda2015/docs/gu__a_de_techos_verdes_y_jardines_v_f4988c2a8cc627

³⁰ Ardila, G. (2011). *Los principales problemas ambientales*. <https://razonpublica.com/los-principales-problemas-ambientales/>

³¹ EL Espectador. (2017). *Denuncian tala irregular de árboles en Cerros Orientales de Bogotá*. <https://www.elespectador.com/noticias/bogota/denuncian-tala-irregular-de-arboles-en-cerros-orientales-de-bogota-articulo-689809>

³² NOTICIAS CARACOL. ¡Caos total! Top cinco de las estaciones y portales de Transmilenio con mayor demanda de usuarios. {En línea}. {19 octubre de 2020} Disponible en: <https://noticias.caracoltv.com/bogota/caos-total-top-cinco-de-las-estaciones-y-portales-de-transmilenio-con-mayor-demanda-de-usuarios-ie26636>

m2³³, ubicada en una de las partes más contaminadas de la ciudad. A partir del diseño en una cubierta típica de una de las estaciones, se podría escalar a la cantidad de estaciones y área según corresponda, encontradas en la ciudad de Bogotá D.C., estudiando los especímenes de plantas a usar dependiendo de la zona de acuerdo con los microclimas.

Según el IDEAM, en Bogotá existen microclimas urbanos que pueden ser generados por las propiedades térmicas de las edificaciones, falta de vegetación, latitud, altitud, topografía y acciones de los ciudadanos que modifican las variables micro climáticas; esta caracterización climática se hizo en el año 2007³⁴ y se presenta de la siguiente forma:

- **ZONAS SEMISECAS C1**

Ubicándonos al Oeste de Bogotá, zona en la que precipitación media anual se encuentra entre los 600 mm y 700 mm y cuenta con 2 periodos secos, uno desde diciembre hasta marzo, donde se presentan los mayores cambios de temperatura máxima y mínima, con probabilidad alta de pasar por bajas temperaturas y el segundo periodo que va desde junio hasta septiembre.

- **ZONAS SEMIHÚMEDAS C2**

En las zonas occidente, centro – occidente y noroccidente con precipitación media anual entre los 700 mm y 800 mm se encuentra Engativá, Aeropuerto El Dorado, Fontibón, El Cortijo y el Guaymaral, además de incluir a la zona doña Juana, lugares en los que también cuentan con dos periodos secos de diciembre a marzo donde pueden ocurrir las mayores temperaturas lo que también representa una baja humedad y de junio hasta septiembre con probabilidad de ocurrencia de niebla y bajas temperaturas.

- **ZONAS LIGERAMENTE HÚMEDAS B1**

Esta zona se extiende a lo largo de la ciudad en el sector de la parte media, representada por la escuela de ingeniería del norte, la conejera (Suba) hasta la picota, con precipitaciones dentro del rango de 700 mm y 900 mm con presencia de 2 periodos secos.

- **ZONAS MODERADAMENTE HÚMEDAS B2**

Recargados un poco hacia la zona oriental de Bogotá extendiéndose a lo largo de la ciudad se encuentra San Diego, el Jardín Botánico, la Ciudad

³³ Medida con la herramienta Google Maps

³⁴ IDEAM. (2007). *Estudio de la caracterización climática de Bogotá y Cuenca Alta del Río Tunjuelo*. http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=17806&shelfbrowse_itemnumber=18790

Universitaria y la Escuela La Unión que presentan precipitaciones de entre los 900mm y 1000mm.

- **ZONAS HÚMEDAS B3**

Con condiciones húmedas la precipitación oscila entre los 1000 mm y 1100 mm, estas zonas están conformadas por el Cerro de Suba al noroccidente y a lo largo del oriente sobre las laderas de montaña, desde el sector de Serrezuela, Los Rosales, Guadalupe y Monserrate, Vitelma y el barrio Olarte.

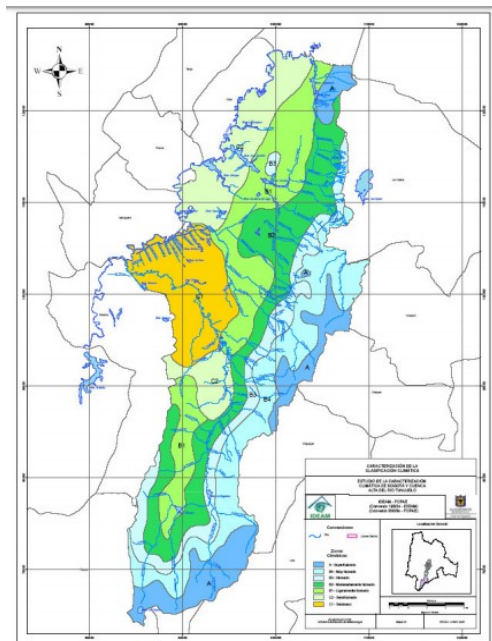
- **ZONAS MUY HÚMEDAS B4**

Donde la precipitación media anual oscila entre los 1100 mm y 1300 mm, ubicados sobre los cerros orientales desde la parte alta de Usaquén hasta alcanzar la cota 3500 msnm donde podemos encontrar zonas como la carretera a Chipaque, parte de Monterredondo, parte alta del río Chuza, también está Guadalupe, parte alta del río San Cristóbal Norte, sector El Delirio que hace parte de Monserrate y el barrio Juan rey.

- **ZONAS SUPER HÚMEDAS A**

En estas zonas la precipitación media anual oscila entre los 1200 mm y 1400 mm, ubicados en la zona norte de Bogotá se puede encontrar la parte central sobre los cerros orientales y límite de la divisoria de aguas en el Verjío, tramo de El Bosque.

Ilustración 23 Clasificación climática



Tomado de: Estudio de la Caracterización Climática de Bogotá y Cuenca Alta del Río Tunjuelo

Las siguientes 8 estaciones suministran dato de la temperatura medidos en °C

Ilustración 24 Promedio Mensual y Anual de Temperatura (°C)

ESTACIÓN	TEMPERATURA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
APTO EL DORADO	MEDIA	13,1	13,5	13,8	14,0	14,0	13,8	13,3	13,3	13,3	13,4	13,5	13,2	13,5
	MÁXIMA ABS	24,9	24,8	24,9	23,2	23,5	23,1	22,4	23,6	23,3	23,6	24,0	23,8	24,9
	MÍNIMA ABS	-3,0	-6,4	-3,2	0,0	0,7	1,0	0,4	-1,5	-0,2	0,5	-3,0	-6,0	-6,4
	MÁXIMA MEDIA	19,9	20,0	19,8	19,5	19,2	18,6	18,2	18,5	18,9	19,1	19,3	19,5	19,2
	MÍNIMA MEDIA	5,6	6,6	7,7	8,7	8,8	8,4	7,8	7,4	7,2	7,8	8,0	6,6	7,5
APTO. GUAYMARAL	MEDIA	12,9	13,2	13,6	13,8	13,5	13,0	12,7	12,9	13,0	13,0	13,2	12,9	12,9
	MÁXIMA ABS	24,8	24,2	24,7	24,5	24,8	24,0	24,0	24,5	24,0	24,5	24,5	24,8	24,8
	MÍNIMA ABS	-2,9	-3,0	-2,0	0,0	1,0	0,1	-0,1	-1,0	-1,0	-3,0	-2,0	-3,2	-3,2
	MÁXIMA MEDIA	20,1	20,1	19,9	19,4	19,2	18,7	18,5	18,7	19,0	19,1	19,1	19,6	19,3
	MÍNIMA MEDIA	5,9	6,5	6,8	7,7	8,1	7,5	7,2	6,9	6,4	6,9	7,0	6,8	7,0
ESC. COL. DE INGENIERÍA	MEDIA	13,7	14,4	14,4	14,5	14,4	13,9	13,4	13,5	13,7	14,0	14,2	13,8	14,0
	MÁXIMA ABS	23,4	23,8	23,5	23,8	23,0	23,8	23,8	22,8	23,6	23,8	23,6	23,6	23,8
	MÍNIMA ABS	-0,4	-1,4	-2,8	1,0	3,4	1,0	1,6	1,0	1,0	1,0	2,0	-2,2	-2,8
	MÁXIMA MEDIA	20,1	20,1	19,9	19,4	19,2	18,7	18,5	18,7	19,0	19,1	19,1	19,6	19,3
	MÍNIMA MEDIA	5,9	6,5	6,8	7,7	8,1	7,5	7,2	6,9	6,4	6,9	7,0	6,8	7,0
GRANJA SAN JORGE	MEDIA	11,5	11,6	11,8	11,9	11,9	11,6	11,1	11,3	11,5	11,5	11,7	11,6	11,6
	MÁXIMA ABS	20,8	20,6	20,2	19,4	20,2	19,4	19,4	19,0	20,0	19,4	19,6	20,0	20,8
	MÍNIMA ABS	0,5	0,2	0,2	2,0	0,7	0,5	0,0	3,8	0,5	0,7	3,2	1,0	0,0

Tomado de: *Estudio de la Caracterización Climática de Bogotá y Cuenca Alta del Río Tunjuelo*

Ilustración 25 Promedio Mensual y Anual de Temperatura (°C)

ESTACIÓN	TEMPERATURA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
	MÁXIMA MEDIA	16,5	16,7	16,6	16,0	16,2	15,6	15,0	15,4	15,8	16,0	16,0	16,2	16,0
	MÍNIMA MEDIA	6,3	6,9	7,3	7,7	7,5	7,3	7,2	7,1	6,9	7,1	7,2	6,8	7,1
HDA LAS VEGAS	MEDIA	13,1	13,5	13,7	13,8	13,9	13,8	13,5	13,5	13,5	13,6	13,6	13,4	13,6
	MÁXIMA ABS	23,8	23,5	23,4	23,2	22,4	21,7	22,0	22,0	23,0	23,4	22,4	22,6	23,8
	MÍNIMA ABS	0,0	0,0	-0,1	1,4	3,2	3,0	1,0	0,6	0,5	0,2	1,4	-0,4	-0,4
	MÁXIMA MEDIA	20,0	20,1	20,0	19,8	19,7	19,4	19,1	19,1	19,6	19,6	19,5	19,9	19,7
	MÍNIMA MEDIA	6,0	7,3	8,0	8,9	9,2	8,7	8,2	7,9	7,3	7,8	8,1	7,0	7,9
JARDÍN BOTÁNICO	MEDIA	14,6	14,5	15,1	14,9	14,9	14,7	14,5	14,4	14,5	14,4	14,6	14,4	14,6
	MÁXIMA ABS	23,4	23,8	23,8	23,0	23,6	23,0	23,4	23,2	23,6	23,2	22,8	23,2	23,8
	MÍNIMA ABS	0,2	0,2	1,8	0,4	0,4	-0,1	-0,6	1,6	-1,0	1,8	0,1	-2,6	-2,6
	MÁXIMA MEDIA	20,7	20,7	20,6	20,2	20,1	19,8	19,6	19,6	20,0	20,1	20,2	20,3	20,2
	MÍNIMA MEDIA	7,2	7,7	8,6	9,3	9,5	8,9	8,4	8,5	8,1	8,6	8,5	7,8	8,4
UNIV. NACIONAL	MEDIA	14,6	14,8	15,0	15,3	15,3	15,0	14,4	14,5	14,6	14,9	14,9	14,9	14,9
	MÁXIMA ABS	24,8	24,6	24,6	24,4	24,0	24,7	22,4	23,3	24,3	24,6	23,4	24,8	24,8
	MÍNIMA ABS	-0,2	-4,0	0,4	0,0	0,2	0,9	2,0	1,1	2,6	1,5	1,0	0,1	-4,0
	MÁXIMA MEDIA	19,9	20,1	20,1	19,8	19,6	18,9	18,3	18,6	19,1	19,5	19,5	19,7	19,4
	MÍNIMA MEDIA	7,8	8,5	9,6	9,9	10,0	9,7	9,4	9,1	8,9	9,1	9,1	8,3	9,1
VENADO DE ORO	MEDIA	12,5	12,6	12,8	13,1	12,9	12,6	12,1	12,2	12,4	12,5	12,4	12,3	12,6
	MÁXIMA ABS	23,5	24,2	23,8	23,6	23,6	23,3	22,0	22,0	23,0	23,5	23,0	23,5	24,2
	MÍNIMA ABS	0,2	3,4	3,2	5,0	2,0	5,8	3,4	3,0	5,0	4,8	4,6	3,0	0,2
	MÁXIMA MEDIA	18,9	18,7	18,6	18,6	18,3	17,8	17,2	17,3	18,0	18,1	17,9	18,0	18,1
	MÍNIMA MEDIA	7,7	8,2	8,7	9,3	9,4	9,0	8,6	8,4	8,4	8,5	8,7	8,0	8,6

Tomado de: Estudio de la Caracterización Climática de Bogotá y Cuenca Alta del Río Tunjuelo

De acuerdo con los anteriores datos es posible realizar una caracterización de las plantas para el uso de estructuras verdes en las estaciones de Transmilenio según la zona y la variabilidad de climas, para que las plantas puedan crecer y vivir, además de crear efectos positivos en la calidad de vida de las personas, enverdecer la ciudad y disminuir la presión del cambio climático.

5 MARCO DE REFERENCIA

5.1 Marco teórico

Como se mencionaba anteriormente, la expansión del área urbana ha ocasionado que las pocas áreas verdes que había se fueran reduciendo cada vez más, de esta manera perjudicando al ambiente, lo cual como se presentó anteriormente, conlleva repercusiones a las cuales tendremos que adaptarnos a ellas en un futuro. De acuerdo con lo anterior, surgen sistemas constructivos como jardines verticales y cubiertas verdes, las cuales pueden ser implementadas en una edificación y de esta manera no se estaría utilizando un área superficial más, además ayudan a contribuir en pro de la contaminación ambiental y en el bienestar de la humanidad, como lo muestran muchos estudios que se le han realizado a estas clases de estructuras.

El ser humano vive en el área urbana, y en las últimas décadas ha estado sometido a vivir a diario bajo mucho estrés, lo cual perjudica de manera directa la salud física y mental del individuo. De allí que sea tan frecuente la necesidad de salir de los entornos urbanos en busca de la naturaleza en los días de descanso, ya que las áreas verdes generan una sensación de escape, que ayuda a la restauración corporal al tiempo genera una distracción positiva que disminuye el estrés al que se ve sometido. Debido a esto, los jardines verticales, son una estrategia que puede ayudar a mitigar este problema; de acuerdo con estudios realizados, un jardín vertical es capaz de contribuir positivamente a la salud y al estado emocional de un ser humano, ya que mejora la presión arterial, el ritmo cardíaco, lo cual conlleva a disminuir el estrés, además, de todos los otros beneficios ambientales antes mencionados. En cuanto a las estructuras, tales como edificaciones, estos absorben la radiación solar, con lo cual conlleva a generar el efecto de isla de calor, la implementación de jardines verticales, pueden ayudar a reducir este efecto, ya que refrigeran la edMejoificación ³⁵

Existen varios estudios que demuestran todos estos beneficios ambientales, tal es el caso de un proyecto de investigación, realizado en la Universidad Católica del Ecuador, en el que se incorporó un jardín vertical en la Facultad de Arquitectura, Diseño y Arte. El jardín contaba con unas dimensiones de 2.8 m de alto y 1.5 m de ancho, en 15 módulos, después de realizar un ciclo de

³⁵ LOTFI, Yomna, REFAAT, Mohammed., El Attar, Mohammed., & ABDEL SALAM, Aaseem. Vertical gardens as a restorative tool in urban spaces of New Cai

mediciones y respectivos análisis, se evidencio que efectivamente se logró una reducción de temperatura de 2°C en el entorno ³⁶

Grandes edificaciones se han sumado a optar a los jardines verticales como herramienta para mitigar la contaminación ambiental, brindar más espacios verdes en zonas urbanas, entre otros más aspectos. Países europeos como como asiáticos, han llevado a cabo la implementación de estos jardines en grandes edificaciones tales como: Bosco Verticale Torre E (Milán, Italia, 115,9 m), Nanjing Torre 1, Torre 2 (Nanjing, China, 200 m, 108 m), One Central Park East (Sydney, Australia, 110,6 m), Hotel Oasia Downtown (Singapore, 193,3 m) y terrazas Beirut (Beirut, Líbano, 121,5 m), estos son algunos ejemplos de importantes edificaciones las cuales han implementado este sistema y mediante las cuales han logrado obtener premios y reconocimientos a nivel mundial. Hoy en día se encuentra que cada vez más el ser humano se rodea por junglas de cemento, y en este sentido, los jardines verticales no ocupan un área superficial adicional, con lo cual lleva al hombre a desarrollar proyectos como "rascacielos bioclimáticos", "eco-rascacielos" o "paisajes verticales"³⁷

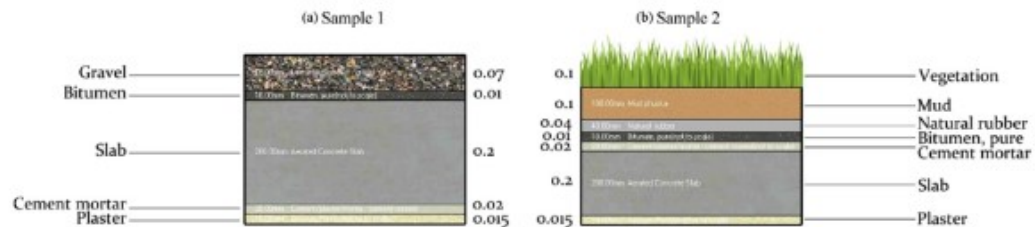
Ahora, en cuanto a las cubiertas verdes, según estudios, están proporcionan una mejora en el rendimiento térmico en infraestructura, por ejemplo, en Irán se llevó a cabo un estudio de simulación en un periodo de un año, en el cual los objetos del estudio fueron una cubierta verde y una cubierta tradicional, para las cuales se midió el rendimiento térmico en cuatro climas de este país, para evidenciar cómo era el comportamiento de estas cubiertas. Los climas que se seleccionaron para este estudio fueron en la ciudad de Rasht cuyo clima es húmedo, en Bandar Abbas con un clima caliente del desierto, Yazd cuyo clima es caliente y seco y finalmente en Tabriz el cual tiene un clima semiárido ³⁸

³⁶ DAVIS, Maks., RAMIREZ, F., & PÉREZ, M. E. More than just a Green Façade: Vertical Gardens as Active Air Conditioning Units. En: *Procedia Engineering*, Vol145. (2016). Pág.1250–1257.

³⁷ GOLASZ-SZOŁOMICKA, Hanna., & SZOŁOMICKI, Jerzy. Vertical Gardens in High-Rise Buildings - Modern Form of Green Building

³⁸ KHOTBEHSARA, Elam., DAEMEI, Abdollah., & MALEKJAHAN, Farzaneh. Simulation study of the eco green roof in order to reduce heat transfer in four different climatic zones. En: *Results in Engineering*, 2(February), Vol 8. (2019). ISSN 2590-1230

Ilustración 26 (a) Techo tradicional con capas convencionales; y (b) techo con capas de cubierta verde



Tomado de: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2019.100010>

De acuerdo con los resultados que se obtuvieron, el techo verde arrojó mejores resultados en cuanto a reducción de calor que los que se obtuvieron del techo tradicional, con lo cual se concluye que deberían tenerse en cuenta los techos verdes para estos lugares de Irán en los que se realizó el estudio.³⁸

5.2 Marco conceptual

Techos verdes: Se le denomina techo verde a aquella estructura horizontal o sistema constructivo el cual permite sostener sobre una cubierta de una edificación un paisaje vegetal³⁹.

Un techo verde está conformado por tres componentes los cuales son:

- **Componentes activos:** Estos elementos son aquellos los cuales se encargan de soportar la vida en este sistema.
- **Componentes estables:** Estos son elementos fabricados, empleados en el sistema, los cuales tienen como objetivo cumplir con determinadas funciones para el óptimo desarrollo de este.
- **Elementos auxiliares:** Son elementos inertes los cuales se encargan de la adaptación del techo verde con el inmueble

De acuerdo con la clasificación primaria (uso de la cubierta) tenemos:

- **Techos Verdes Autorregulados:** Usan el mínimo de materiales, por lo que son más económicos y ligeros. No tienen como finalidad ser transitables.

³⁹ SDA (SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE). Guía de Techos Verdes en Bogotá. Subdirección de Ecourbanismo y Gestión Ambiental Empresarial. 2011

- **Techos Verdes Ajardinados:** Estos tienen como objetivo crear un espacio agradable visualmente, el cual refleje un espacio paisajístico, lo cual quiere decir que esté sea transitable, por lo que su espesor será mayor comparado a los techos verdes autorregulados.
- **Techos Verdes Ecológicos Especializados:** Su propósito es replicar a un hábitat, y de esta manera constituirse como un hábitat capaz de mantener una fauna y flora local.
- **Techos huerta:** Tienen como propósito desarrollar producción agrícola, por lo que deberá contar con áreas tanto para transitar como para la plantación.

Ahora, en cuanto a la clasificación secundaria (robustez de la cubierta), se tiene:

- **Techos verdes livianos:** Estos cumplen en su totalidad los requisitos técnicos como también el propósito de uso.
- **Techos verdes moderados:** Aquellos techos cuya robustez es intermedia.
- **Techos verdes robustos:** Presentan un peso mayor al de los moderados, debido a que emplean un mayor número de especies.

6. OBJETIVOS

6.1 General

Diseñar un prototipo de cubiertas verdes con un sistema constructivo combinado en la infraestructura de las estaciones de Transmilenio S.A de la ciudad de Bogotá D.C.

6.2 Específicos

- Identificar especies vegetales que puedan ser implementadas en la cubierta de las estaciones de Transmilenio según la zona de ubicación.
- Clasificar el tipo de cubiertas de acuerdo con la especie vegetal identificada.
- Desarrollar un sistema constructivo sostenible, capaz de reutilizar el agua proveniente de las aguas lluvias que se pueden adaptar a las infraestructuras actuales. Desarrollar un modelo de mantenimiento.
- Calcular los posibles costos y beneficios asociados

7. ALCANCES Y LIMITACIONES

7.1. Alcances

Teniendo en cuenta los objetivos anteriormente planteados para el desarrollo de infraestructura en las estaciones de Transmilenio S.A, se deben especificar los siguientes aspectos:

- **Espacio:** Como anteriormente se mencionó, la estación de la Av. Jiménez siendo una de las áreas más contaminadas, será ideal para la implementación de este tipo de infraestructura para la cual se llevarán a cabo estudios en las instalaciones de la universidad y se buscará el apoyo de asesorías por parte de los profesores de la Universidad Católica de Colombia.
- **Extensión:** El desarrollo de este proyecto podría implicar cambios a nivel departamental y avances de infraestructura verde a nivel nacional dado que, además de presentar diseños como tesis a la Universidad Católica de Colombia, también luce atractiva la idea de presentar estos mismos a los directivos de la alcaldía de Bogotá, pero teniendo en cuenta las limitaciones que podrían nacer debido a la contingencia nacional, nos limitamos por lo pronto a abarcarnos como mínimo a la implementación de los conocimientos técnicos adquiridos a la infraestructura de la estación AV. Jiménez.
- **Tiempo:** Se espera completar el documento del proyecto con base a las investigaciones y conocimientos transmitidos por parte de los asesores de la universidad en 3 meses y realizar el desarrollo de los diseños en 3 meses.

7.2. Limitaciones

El factor económico de recursos podría afectar los objetivos, sin embargo, se busca en lo máximo disminuir los costos para que el proyecto sea viable basándonos en investigaciones realizadas en el país y opiniones de los profesionales de la universidad.

Impedimentos en la prueba de prototipos en la infraestructura de Transmilenio debido a la contingencia nacional. Es por esto que en la tesis se proponen únicamente diseños y modelaciones.

8. METODOLOGÍA

La metodología del proyecto se define en torno al desarrollo y el cumplimiento de los objetivos específicos ya anteriormente planteados, por lo tanto, se tiene que:

- Para el desarrollo del proyecto, identificar el microclima en la cual se encuentra la estación de la Av. Jiménez, pero también se tomarán otros casos de estudio como lo es en las estaciones de calle 100, calle 45 y Bosa.
- Según la información recopilada sobre las especies vegetales aptas para cubiertas verdes, definir qué especies se emplearán, teniendo en cuenta factores como el microclima, precipitación, e incluso los contaminantes presentes en las zonas de estudio.
- Una vez definidas las especies a utilizar, definir qué tipo de cubierta es la más apta para el desarrollo del proyecto.
- De acuerdo con las infraestructuras de las estaciones de Transmilenio y con el tipo de cubierta previamente definida, desarrollar el modelo de la cubierta como también el sistema de riego el cual recogerá aguas lluvias.
- Para la durabilidad y funcionalidad del proyecto, elaborar un sistema que permita la aireación del sustrato y de igual manera que cuente con orificios los cuales ayuden a que no se encharque el sustrato.
- Durante el desarrollo del proyecto, calcular el costo que tendría el modelo, teniendo en cuenta las dimensiones que tienen las cubiertas de las estaciones de Transmilenio y también los materiales que comprenden todo el sistema de la cubierta.
- Calcular finalmente los beneficios que conlleva la implementación de una cubierta verde sobre las estaciones de Transmilenio.

9. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

9.1. Identificación de especies según zonas de estudio

Transmilenio es un sistema el cual cuenta hasta el día de hoy con 138 estaciones, 9 portales, de las cuales, las estaciones más críticas se encuentran ubicadas a lo largo de la troncal Caracas. Partiendo de esto, se tomarán como objeto de estudio 3 estaciones, las cuales se encuentran en el rango de las 10 estaciones más críticas que tiene Transmilenio, y una cuarta estación de la cual se puedan obtener registros de la zona occidental de la ciudad. Estas estaciones son:

- Av. Jiménez.
- Calle 45.
- San Mateo.
- Bosa.

Para la identificación de las especies más aptas para el desarrollo del estudio, se deben de tener en cuenta varias variables, como por ejemplo los contaminantes y variables meteorológicas a las cuales se someterán las especies, los microclimas de Bogotá, como también los índices de lluvia.

9.1.1. Contaminantes

La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá está conformada por 14 estaciones, de las cuales 13 de ellas son estaciones fijas y 1 móvil. Sus 14 estaciones se encuentran distribuidas de la siguiente manera:

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
SECRETARÍA DE URBANISMO

Mapa Estaciones RUCAS 2017

CONVENCIONES

- Estaciones
- Perímetro Urbano
- Municipios

ESCALA: 1:200.000
Proyección: Coordenadas UTM
Datum: S. 56.000.000
Fuentes: Plan de Manejo del Ambiente de Bogotá de Bogotá

La RMCAB ofrece reportes mensuales, trimestrales y anuales con respecto a monitoreos sobre los contaminantes y variables meteorológicas presentes en la ciudad, por lo tanto para el desarrollo de este trabajo se empleara el monitoreo del año 2019, que es el último monitoreo que tiene la Secretaría de Ambiente, para que de esta manera se puedan evidenciar los contaminantes que hay presentes en la zonas de estudio ya anteriormente mencionadas, y teniendo en cuenta que este es un año típico a diferencia del año 2020.

Ilustración 28 Variables monitoreadas para el año 2019

Característica		Bolivia	Carvajal-Sevillana	Centro de Alto Rendimiento	Fontibón	Guaymaral	Kennedy	Las Ferias	Min. Ambiente	Móvil 7ma	Puente Aranda	San Cristóbal	Suba	Tunal	Usaquén
Ubicación	Sigla	BOL	CSE	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MAM	MOV	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
	Código	100210	60303	120305	90314	110308	80309	100306	170302	20312	160313	40307	110311	30304	10301
	Latitud	4°44'9.12"N	4°35'44.22"N	4°39'30.48"N	4°40'41.67"N	4°47'1.52"N	4°37'30.18"N	4°41'26.52"N	4°37'31.75"N	4°38'32.75"N	4°37'54.36"N	4°34'21.19"N	4°45'40.49"N	4°34'34.41"N	4°42'37.26"N
	Longitud	74°7'33.18"W	74°8'54.90"W	74°5'2.28"W	74°8'37.75"W	74°2'39.06"W	74°9'40.80"W	74°4'56.94"W	74°4'1.13"W	74°5'2.28"W	74°7'2.94"W	74°5'1.73"W	74°5'36.46"W	74°7'51.44"W	74°1'49.50"W
	Altitud	2574 m	2563 m	2577 m	2551 m	2580 m	2580 m	2552 m	2621 m	2583 m	2590 m	2688 m	2571 m	2589 m	2570 m
	Altura del suelo	0 m	3 m	0 m	11 m	0 m	3 m	0 m	15 m	0 m	10 m	0 m	6 m	0 m	10 m
	Localidad	Engativá	Kennedy	Barrios Unidos	Fontibón	Suba	Kennedy	Engativá	Santa Fe	Chapinero	Puente Aranda	San Cristóbal	Suba	Tunjuelito	Usaquén
	Dirección	Avenida Calle 80 #121-98	Autopista Sur #63-40	Calle 63 #59A-06	Carrera 104 #20 C-31	Autopista Norte #205-59	Carrera 80 #40-55 sur	Avenida Calle 80 #69Q-50	Calle 37 #8-40	Carrera 7 con calle 60 #65-28	Calle 10 Carrera 2 Este #12-78 sur	Carrera 111 #159A-61	Carrera 24 #49-86 sur	Carrera 7B Bis #132-11	
	Tipo de zona	Suburbana	Urbana	Urbana	Urbana	Suburbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Suburbana	Urbana	Urbana	Urbana
	Tipo de estación	De fondo	Tráfico Industrial	De fondo	De tráfico	De fondo	De fondo	De tráfico	De tráfico	De tráfico	Industrial	De fondo	De fondo	De fondo	De fondo
	Localización toma muestra	Zona Verde	Azotea	Zona Verde	Azotea	Zona Verde	Zona Verde	Zona Verde	Azotea	Andén	Azotea	Zona Verde	Azotea	Zona Verde	Azotea
	Altura punto de muestra	4.6 m	4.2 m	4.05m	15 m	4.8 m	7.71 m	4.02m	4.67 m	4 m	18.7 m	4.88 m	11.4 m	3.62	16.45m
	Altura del sensor de viento	10 m	13 m	10 m	17.4 m	10 m	10 m	10 m	19 m	12.3 m	20 m	10 m	10 m	10 m	19 m
Contaminantes	PM ₁₀		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	PM _{2.5}		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	O ₃		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
	NO ₂		X	X	X	X	X	X		X				X	
	CO		X	X	X		X	X		X	X			X	X
	SO ₂		X	X	X		X		X	X	X		X	X	
	Black Carbon		X	X	X		X	X	X					X	X
Var. Meteorológicas	V. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	D. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Temperatura		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
	Precipitación	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	R. Solar			X		X	X		X		X		X		
	H. Relativa			X	X	X	X	X	X		X		X		
	Presión Atm.					X		X		X				X	

Tomado de: Informe Anual de calidad del Aire 2019

9.1.2. Precipitación

Bogotá se encuentra ubicada sobre la zona andina, lo cual conlleva que la ciudad se vea sometida a dos periodos de lluvias abundantes como también a dos periodos donde las lluvias no son tan abundantes⁴⁰. Como se mencionó anteriormente, para la identificación de las especies se deben tener en cuenta varios aspectos. La precipitación ejerce la labor de un lavado atmosférico, de esta manera ayuda con la contaminación que hay presente en la ciudad, ya que arrastra partículas presentes en la atmósfera.

A continuación, se presenta en la ilustración 29 la distribución de las lluvias que se monitorearon en el año 2019.

Ilustración 29 Distribución de las lluvias

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	18,5	50,8	87,3	124,8	122,7	74,9	44,3	35,6	62,7	97,3	180,0	48,2
% Anual	2%	5%	9%	13%	13%	8%	5%	4%	7%	10%	19%	5%
% Trimestral	17%			34%			15%			34%		
% Semestral	51%						49%					

Tomado de: Informe Anual de calidad del Aire 2019

De acuerdo con la anterior ilustración, las dos temporadas más lluviosas a las cuales se ve sometida la ciudad de Bogotá es en los meses de abril y mayo y en octubre y noviembre. Por otro lado, los meses en los cuales las lluvias son más escasas, son en los meses de enero y agosto, con lo cual, es en estos meses donde se debe pensar en el mantenimiento y riego de las especies a utilizar.

Finalmente, según la RMCAB, para el año 2019 se obtuvo el siguiente promedio mensual de la precipitación en cada una de sus estaciones.

⁴⁰ SDA (SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE). Guía de Techos Veredes en Bogotá. Subdirección de Ecourbanismo y Gestión Ambiental Empresarial. 2011

Ilustración 30 Promedio mensual de precipitación

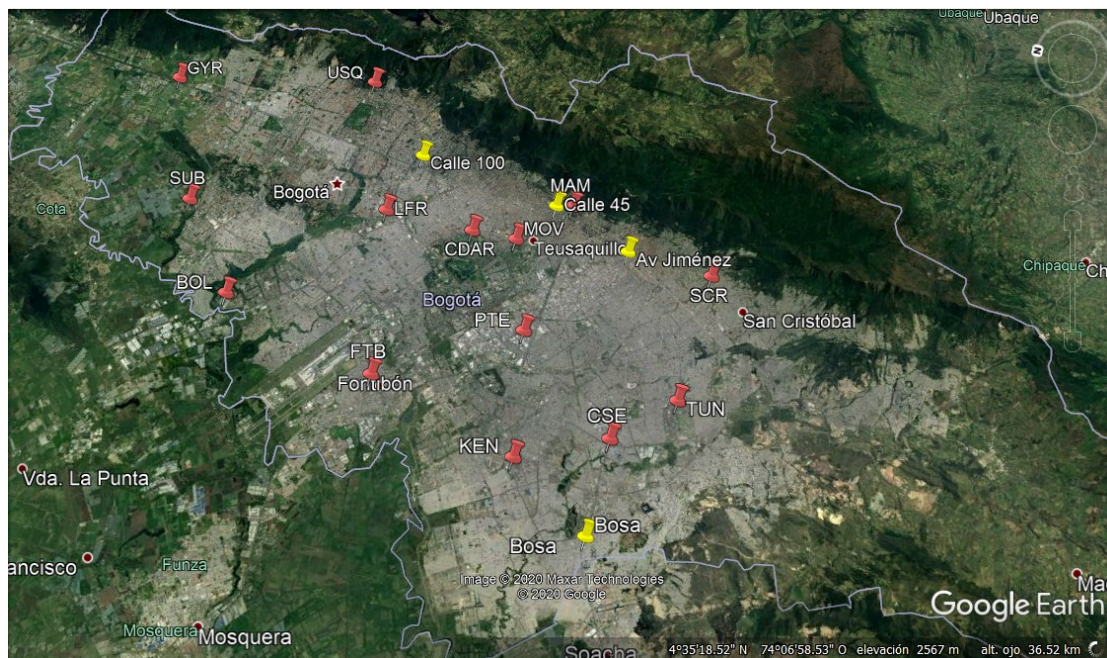
Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Acumulado (mm)
BOL	0	N.A	N.A	35,2	181,6	110,4	48,3	39,2	15,6	N.A	N.A	N.A	N.A
CSE	8,4	82,7	84,6	145,8	26,2	56,4	43,1	42,2	35,9	78,6	129,4	42,8	776,1
CDAR	14,2	34,9	122,3	168,2	120,2	52,5	27,5	33,5	76,4	108,6	160,2	61,3	979,8
FTB	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
GYR	33	61,8	96,8	168,9	131	54,8	43,8	29,2	89,4	79,3	119,5	16,4	923,9
KEN	0	1,3	0	28,5	250,7	142,3	108,9	85,6	95,7	221,4	462,3	168,8	1565,5
LFR	21	62,4	87,7	108,4	70,6	33,4	15,6	18,1	46,8	1,4	53,6	39,5	558,5
MAM	27	N.A	N.A	N.A	93,7	55,2	32	32,1	90,6	89,1	195,3	61,2	N.A
MOV	45,1	87,3	81,6	135,1	69,1	N.A	N.A	2,4	34,7	80,2	136,8	15,3	687,6
PTE	25,7	41,1	104,7	149	131,1	39,6	27	28,4	41,5	97,3	120,2	37,8	843,4
SCR	29,1	34,5	120,7	184,3	101,3	96	54,7	48,6	80,6	86,2	208,8	20,7	1065,5
SUB	0	N.A	N.A	N.A	173,8	108	42,4	32	83	130,4	213,5	18,3	N.A
TUN	5,1	38,7	87,5	137,2	108,6	60,2	40,7	42,4	53,9	80,1	138,3	21,9	814,6
USQ	21,2	66,3	139,3	157	96	75,5	34,2	25,8	81	78,7	235,1	95,5	1105,6

Tomado de: Informe Anual de calidad del Aire 2019

De acuerdo con la ilustración 30, para el año 2019 en la zona occidente de la ciudad, fue donde se presentó un mayor nivel de precipitación.

Según la información anteriormente presentada, se procedió a ubicar las estaciones de Transmilenio (indicadores amarillos) que usarán como objeto de estudio, junto a las estaciones de la RMCAB (indicadores rojos) para así hacer más fácil la identificación de la información que se requiere.

Ilustración 31 Distribución de RMCAB y estaciones de Transmilenio



Tomado de: Google Earth (Fuente Propia)

A partir de la ilustración 31, se obtuvo la siguiente información:

Tabla 4 Recopilación de Información

Estaciones de Transmilenio	Estaciones de monitoreo	Precipitación Anual(mm)	Contaminantes			
			PM ₁₀	PM _{2.5}	CO	SO ₂
Calle 45	MOV	687.6	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO	SO ₂
Av. Jiménez	MAM	N. A	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	Black Carbón
Calle 100	MOV	687.6	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO	SO ₂
San Mateo	CSE	776.1	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO	SO ₂
			O ₃	NO ₂	Black Carbón	

Tomado de: Fuente Propia

Con respecto a la información anual de la precipitación sobre la estación Ministerio de Ambiente (MAM), no se cuenta con esta información debido a que

se presentó en varios monitoreos que la información obtenida no cumplía con el criterio de representatividad.

Con respecto a los contaminantes, a continuación, se presenta el monitoreo realizado por la RMCAB de cada mes del año 2019, cabe resaltar que no se obtuvieron datos de algunos de los contaminantes debido a que algunos no cumplían los criterios de representatividad o por algún otro motivo externo.

Tabla 5 Monitoreo de la Estación CSE

Carvajal-Sevillana						
	PM10	PM2.5	CO	SO2	O3	NO2
Enero	65.1	28.8	1264.3	12.2	14.669	32.9
Febrero	93.2	49	1126.4	25.3	20.015	34.2
Marzo	75.3	52	1169.4	35.8	20.904	37.2
Abril	63.1	38	1181	27	18.428	44.2
Mayo	61.4	34.4	1438		9.964	47.9
Junio	50.8	30	1402	12.1	11.061	39.4
Julio	56.1	29.6	1379.6	18	11.179	42.7
Agosto	49.5	33.6	1312.4	14.3	15.874	45.7
Septiembre	43.2	33.9	1495	13.9	26.138	50.9
Octubre	49.2	38.2	1595.6	9.6	16.552	50
Noviembre	43.3	33.5	1212.8	6.3	20.597	42.4
Diciembre	54.5	35.4	1503.6	6.7	17.245	47.4

Tomado de: Fuente Propia

Tabla 6 Monitoreo de la Estación MAM

Min. Ambiente						
	PM10	PM2.5	CO	SO2	O3	NO2
Enero	31.9	13.9			24.975	
Febrero	38.9	20.9			34.707	
Marzo	40.2	25.1			36.846	
Abril	33.8	18.4			41.542	
Mayo	26.9	12.5			22.945	
Junio	17.9	7			15.372	
Julio	18.7	6.7			16.382	
Agosto	22.4	10.1			36.672	
Septiembre	31.1	11.3			24.959	
Octubre	28.7	11.8			21.177	
Noviembre	33.2	14.1			23.727	
Diciembre	32.3	13.1			14.614	

Tomado de: Fuente Propia

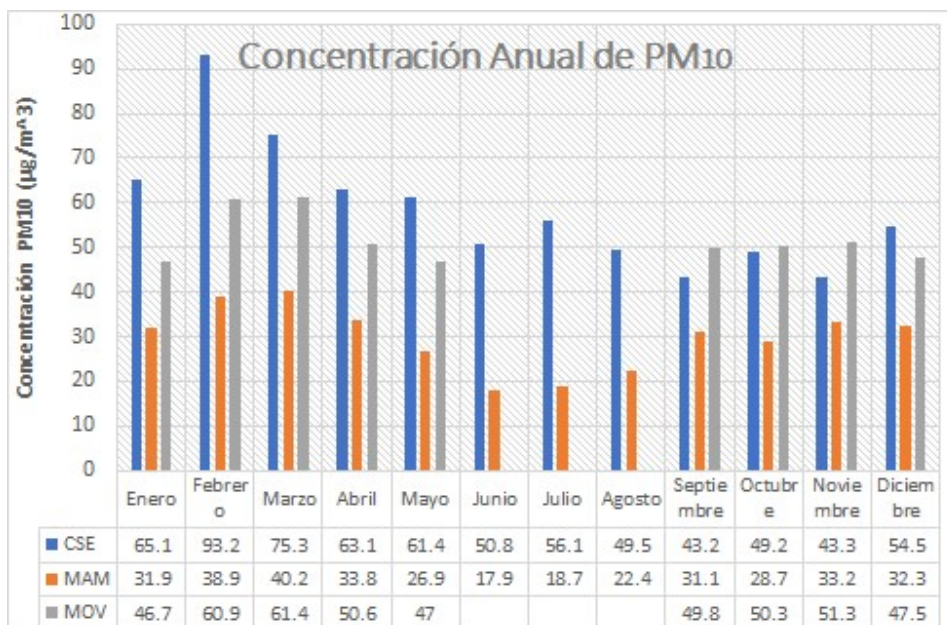
Tabla 7 Monitoreo de la Estación MOV

Móvil 7ma						
	PM10	PM2.5	CO	SO2	O3	NO2
Enero	46.7	27.8	1690.4	4.3		
Febrero	60.9	37.6	1923.7	4.3		
Marzo	61.4	40.5	2028.4	4.9		
Abril	50.6	30.4	2112.7	4.1		
Mayo	47	23.3	2137.9	4.8		
Junio						
Julio						
Agosto						
Septiembre	49.8	20.3	1713.7			
Octubre	50.3	23.2	2051.8			
Noviembre	51.3	27.5	1889.9			
Diciembre	47.5	25.5	1343.2			

Tomado de: Fuente Propia

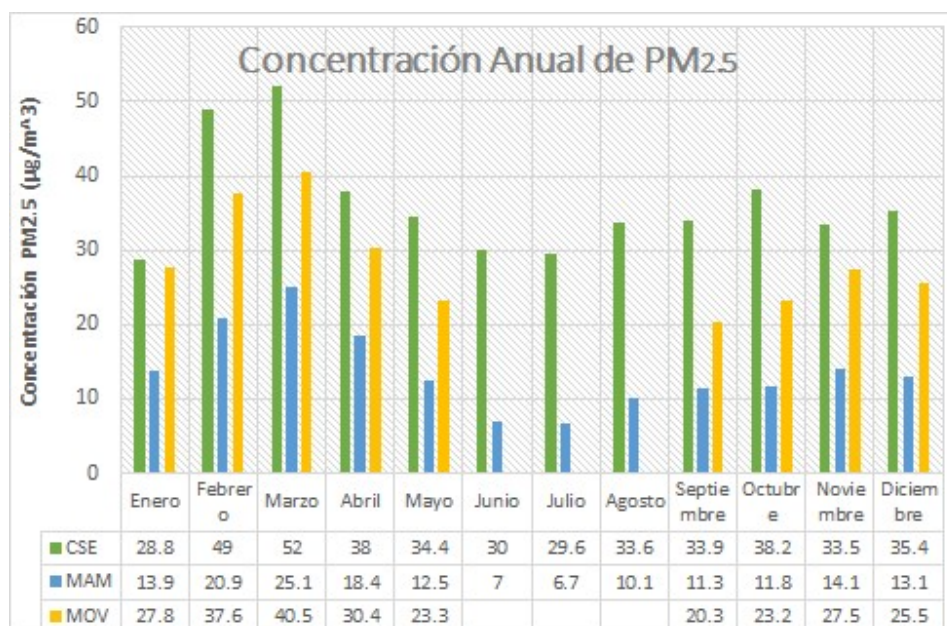
A partir de las tablas 5, 6 y 7 se graficaron las diferentes concentraciones para poder visualizar los promedios mensuales para el año 2019.

Ilustración 32 Concentración Anual de PM10



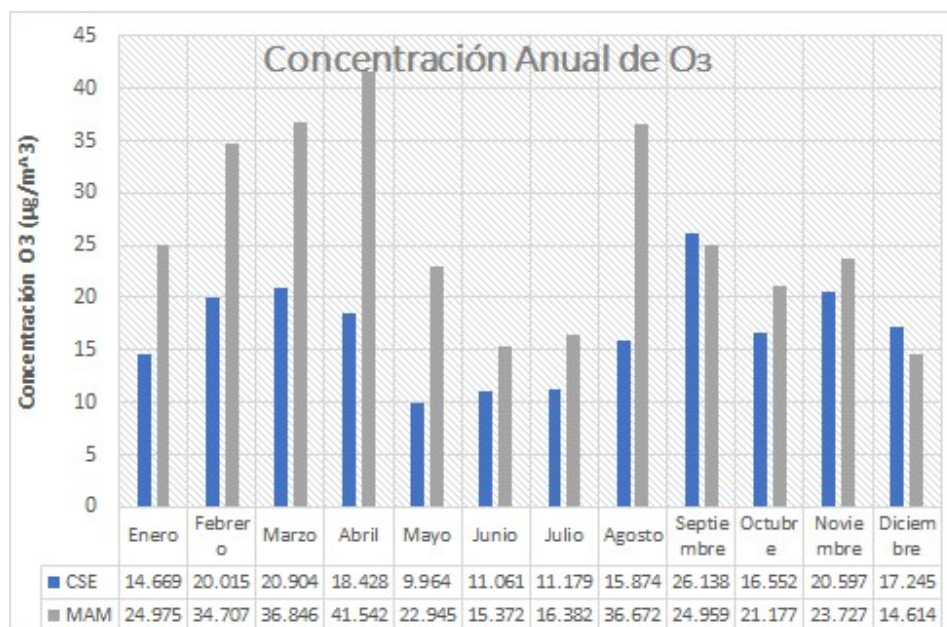
Tomado de: Fuente Propia

Ilustración 33 Concentración Anual de PM2.5



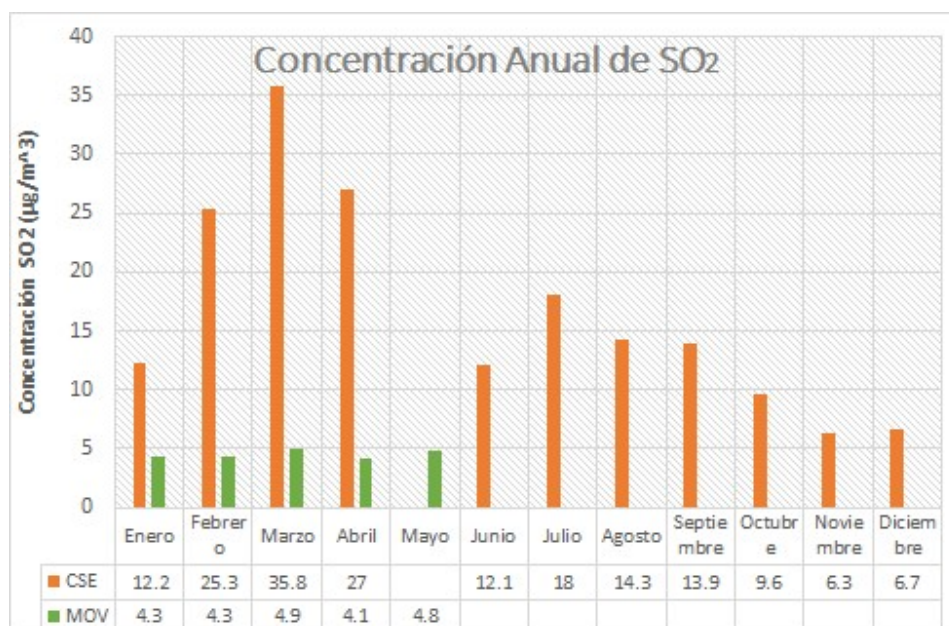
Tomado de: Fuente Propia

Ilustración 34 Concentración Anual de O3



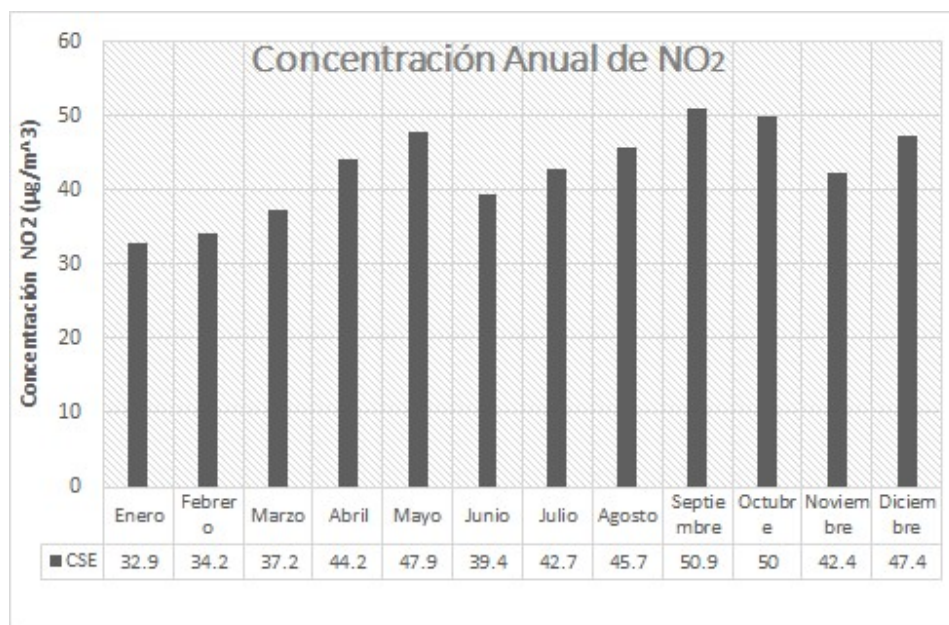
Tomado de: Fuente Propia

Ilustración 35 Concentración Anual de SO₂



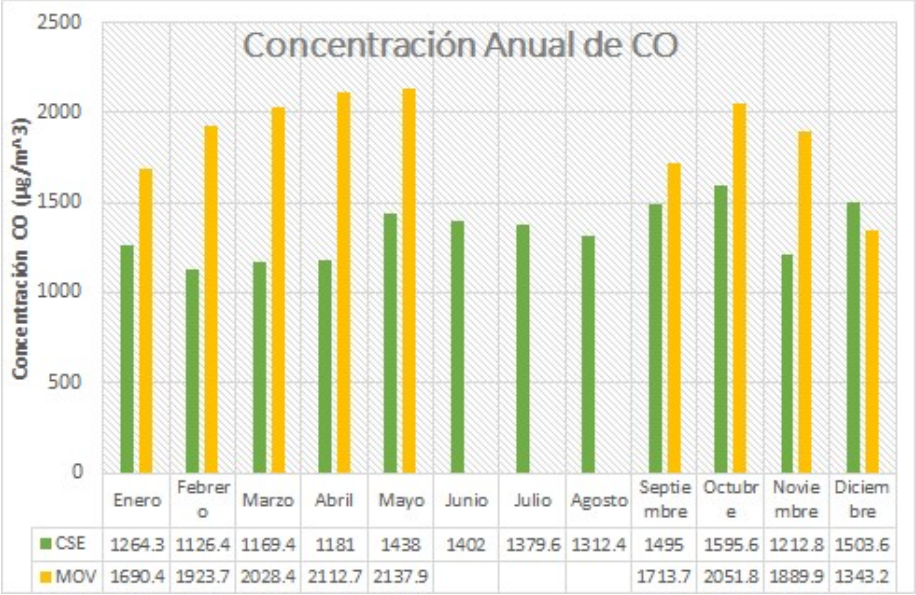
Tomado de: Fuente Propia

Ilustración 36 Concentración Anual de NO₂



Tomado de: Fuente Propia

Ilustración 37 Concentración Anual de CO



Tomado de: Fuente Propia

9.1.3. Especies Seleccionadas

9.1.3.1. Estación de Bosa

Ubicada al sur de la ciudad en la Autopista Sur entre las calles 63 sur y 65 C en Bosa, es una estación sencilla con demanda de los barrios Bosa La Azucena y La Estación, Perdomo y Casablanca

Ilustración 38 Estación bosa



Tomado de:
https://cr00.epimg.net/emisora/imagenes/2016/05/27/bogota/1464348944_595390_1464349034_noticia_normal.jpg

En las cercanías encontramos el Terminal de Transportes del Sur y la Zona Industrial de Cazucá.

Con respecto al microclima, Bosa corresponde al área demarcada de tipo **C1** como una zona semiseca con deficiencia de agua, en este lugar la precipitación se encuentra entre los 600mm y 700mm.

En la zona existe alta probabilidad de bajas temperaturas, además de que cuenta con oscilación de temperaturas extremas y dos periodos secos de poca precipitación.

Al ser una zona semi seca con poca presencia de agua es importante escoger una planta capaz de contener agua por periodos largos de tiempo, y que además esté acompañada con un sustrato que retenga consigo un volumen considerable de agua para asegurar la supervivencia de la planta.

En el año 2016, Sustentar Soluciones verdes, quien ha dedicado proyectos enfocados al desarrollo sostenible por medio de infraestructura verde, presentó “paraderos verdes” ⁴¹, el cual busca cambiar la ciudad a un espacio eco urbanístico instalando una capa vegetal sobre los paraderos de bus, en dicho proyecto recurrieron a una “suculenta” llamada Sedum Rupestre Azul que cuenta con las siguientes características:

- Usada en diferentes países para cultivar en cubiertas verdes
- De origen eurosiberiano
- Soporta los rayos de la luz solar directa sin problemas.
- Esta planta se adapta a sustratos con nutrientes altos o bajos
- Resiste a heladas y temperaturas menores a los 30°C

⁴¹ SUSTENTAR (2016) 7 años de paraderos verdes

<https://register.gotowebinar.com/recording/recordingView?webinarKey=3450652724224403979®istrantEmail=iccv%40yahoo.com>

Ilustración 39 Sedum rupestre



Tomado de <https://naturalezatropical.com/sedum-rupestre/>

En cuanto a contaminación, Sustentar Soluciones verdes (Sustentar,2016) realizó con ayuda de expertos en biología la verificación de la efectividad de las plantas al absorber metales pesados a partir de la concentración de estos en la planta en el primer año, encontrando que los niveles de metales en la planta aumentaron de la siguiente manera (Sustentar,2016):

- Arsénico:8 veces
- Cadmio:2,3 veces
- Plomo: 3,22 veces
- Mercurio:10 veces
- Níquel:5,1 veces

9.1.3.2. Estación AV. JIMENEZ

De las principales estaciones de la capital, atiende alrededor de 39000 usuarios al día y se encuentra ubicada en el centro de la ciudad en la intersección de Avenida Jiménez y Avenida Caracas, inaugurada durante la fase I de Transmilenio.

Ilustración 40 Estación AV. Jiménez



Tomado de
https://www.elnuevosiglo.com.co/sites/default/files/styles/noticia_interna/public/Fotoavjimenez_1.png

Una de la zona de la ciudad de Bogotá más transcurridas a diario, donde encontramos centros históricos de la capital, Academia superior de artes de Bogotá, Plaza de San Victorino, Plaza de los Mártires, Sede Centro del Sena y a unas pocas cuadras se encuentra el parque tercer milenio.

Se refiere a la zona demarcada como B3 por su cercanía a los cerros Orientales y sector Venado de Oro que hace parte de la banda estrecha y alargada sobre las laderas de montaña por el sector oriental, y se caracteriza por la existencia de altas lluvias de entre 1000mm y 1100mm. Esta zona es denominada como zona húmeda de acuerdo con la Caracterización Climática de Bogotá.

Esta zona, al ser húmeda, nos posibilita dejar de ser un poco conservadores a la hora de escoger una planta que pueda vivir sobre una cubierta. Seguramente, como en todas las estaciones, las plantas estarán expuestas directamente al sol y debido a las altas precipitaciones de la zona es importante escoger una planta capaz de adaptarse en lo posible a estas condiciones.

En un estudio por parte de la universidad Distrital Francisco José de Caldas(Universidad Distrital, 2016) que busca contribuir con la gestión y sistematización de la información manejada por la Subdirección de Ecourbanismo

y Empresas ambientales en el fortalecimiento de la infraestructura verde se determinó que la planta *Ajuga Reptans* tiene probabilidades altas de adaptarse a cubiertas verdes ya que entre los especímenes estudiados, este obtuvo el menor índice de mortalidad (2,8 muertes en promedio), hay que considerar que dichos estudios se realizaron en la Secretaría Distrital de Ambiente (zona tipo B2), es decir moderadamente húmedo y que en zonas con mayor humedad es posible mejorar las condiciones de la planta (Flor de planta 2017). Las Características de esta son:

- Originaria de Europa y Norte de África.
- Usada en Jardinería como Cubierta Vegetal
- En promedio crecen de 5 a 8 centímetros.
- Crecen sin problemas a pleno sol y con mejor aspecto.
- Fácil de mantener si se usan suelos bien drenados.
- Soporta bajas temperaturas
- Exige suelos frescos y húmedos.

Ilustración 41 *Ajuga Reptans*



Tomada de <https://www.flordeplanta.com.ar/wp-content/uploads/2017/09/EnLorax-768x511.jpg>

En dicho documento de fortalecimiento de las tecnologías de infraestructura se asegura que la vinculación de estos trabajos investigativos relacionados a infraestructura verde refuerza las alternativas para la adaptación y mitigación del

impacto al medio ambiente, lo cual afianza las mejoras en el ambiente en la instalación de este tipo de proyectos ⁴²

9.1.3.3. Estación CALLE 100 y CALLE 45

La estación calle 45 se encuentra ubicada sobre la Avenida Caracas entre las calles 45 y 42 bis, atiende la demanda de los estudiantes de la zona, barrios como Santa Teresita, Sucre y alrededores con una cantidad de usuarios promedio diario de alrededor de 45000. Inaugurada en el año 2000 en la primera fase de Transmilenio.

A los alrededores de esta estación se encuentran universidades como Universidad Piloto de Colombia, Universidad Católica de Colombia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, entre otras sedes educativas, además del Centro Cultural Jorge Eliecer Gaitán, Compensar Calle 42 y teatro Ditirambo.

Respecto a la estación Calle 100 en el año 2018 tuvo un promedio de usuarios por día de 45605, ganando el puesto 3 dentro del top 10 de las estaciones más transitadas en la ciudad ⁴³Dicha estación se encuentra ubicada en la autopista norte entre calles 94 y 97, empezó como una estación sencilla, pero en el 2011 se decidió ampliar un tercer vagón para cumplir con la demanda de usuarios.

⁴² ACEVEDO ROMERO, Juan APOYO EN LA ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO E INDICADORES DE TECHOS VERDES Y JARDINES VERTICALES Y ESTABLECIMIENTO DE PARCELAS DEMOSTRATIVAS PARA EVALUAR LA ADAPTABILIDAD DE ESPECIES COMO COBERTURAS EN ESTE TIPO DE TECNOLOGÍAS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, 2016, Universidad distrital.

⁴³ RCN radio. Top 10 de estaciones de Transmilenio con más usuarios al día. {En línea}. {15 octubre de 2020} Disponible en <https://www.rcnradio.com/bogota/top-10-de-estaciones-de-transmilenio-con-mas-usuarios-al-dia>

Ilustración 42 Estación calle 100



Tomado de https://live.staticflickr.com/2783/4400395372_ebc5c3868c_b.jpg

Cerca la estación encontramos edificios de oficinas, Compensar de la calle 94, supermercados, hoteles. parque urbano Calle 100, parque la castellana, zona verde Santa Bibiana

Según el mapa de caracterización climática, las dos estaciones nombradas se encuentran dentro del área demarcada B2 que corresponde con lugares cercanos a Usaquén y Jardín botánico dentro de la banda que recorre la ciudad, este lugar se caracteriza por precipitaciones de entre 900mm y 1000mm con una humedad moderada.

Pertenecientes a la zona tipo B2 de la caracterización climática de Bogotá, se trata de un clima moderadamente húmedo y puesto que es posible que la humedad en épocas de calor desaparezca es mejor asegurar una planta de bajo riego.

De acuerdo con el estudio de evaluación y prediseño de techos verdes llevado a cabo por estudiantes de la Universidad Militar Nueva Granada⁴⁴, dentro de la

⁴⁴ Universidad Militar (2014) EVALUACIÓN Y PRE-DISEÑO DE CUBIERTAS VERDES PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN LA

clasificación general de techos verdes tratan de clasificación de techos verdes extensivos, refiriéndose a el uso de plantas de bajo crecimiento, como lo es el sedum o kalanchoe, que comprenden una profundidad de sustrato de entre 2 a 10 centímetros, con mantenimiento mínimo.

De lo anterior, nace la necesidad de recurrir al listado de especies para techos verdes que tiene la secretaría de ambiente en su página web (Secretaria de Ambiente, 2015) Inmerso en este documento se encuentra el género de plantas Kalanchoe, el cual cuenta con las siguientes características:

- Solicita luz y sol directo
- Poco riego
- Requieren sustratos drenados.
- Tierra normal de jardín mezclada con arena lavada y tierra arcillosa.
- Mantenimiento mínimo.

Para asegurar la biodiversidad de plantas en las diferentes estaciones de la ciudad, se decidió usar dos plantas de este mismo género, Kalanchoe blossfeldiana y Kalanchoe thyrsiflora

Ilustración 43 Kalanchoe thyrsiflor



Tomado de: <https://www.floresyplantas.net/kalanchoe-thyrsiflora-o-bryophyllum-thyrsiflora/>

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA: UNA PERSPECTIVA DESDE
UNIVERSIDAD SALUDABLE

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11478/Evaluaci%C3%B3n%20y%20predise%C3%B1o%20de%20techos%20verdes.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Ilustración 44 Kalanchoe blossfeldiana



Tomado de:

https://www.google.com/search?q=Kalanchoe+blossfeldiana&source=lnms&tbn=sch&sa=X&ved=2ahUKEwidn5yekZDsAhUk1VkkHe2WCoUQ_AUoAXoECCMQAw&biw=1366&bih=629#imgrc=rGuaYSPib-J7CM

En el trabajo de evaluación y pre-diseño de cubiertas verdes para la reutilización de aguas lluvias en la universidad militar nueva granada: una perspectiva desde universidad saludable⁴⁵, se hace énfasis en promover este tipo de proyectos para hacer uso óptimo de los recursos naturales renovables y para mitigar el impacto ambiental, además de muchas más ventajas inmersas en el documento.

⁴⁵ Universidad Militar (2014) EVALUACIÓN Y PRE-DISEÑO DE CUBIERTAS VERDES PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN LA UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA: UNA PERSPECTIVA DESDE UNIVERSIDAD SALUDABLE

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11478/Evaluaci%C3%B3n%20y%20predise%C3%B1o%20de%20techos%20verdes.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

9.1.4. Sustrato

Para las plantas del género sedum y kalanchoe es posible usar sustratos comerciales para plantas crasas, el cual está constituido por arena de río fina y gruesa, turba negra y perlita para asegurar un buen drenaje ⁴⁶

En el caso de Ajuga Reptans, al ser adecuada para vivir en suelos pobres de nutrientes puede vivir en suelos arenosos, secos con poca aptitud para retener agua, así como en suelos húmedos; al desarrollarse en todo tipo de suelos y teniendo en cuenta que es mejor preservar humedad en la planta se recomienda usar mezcla de tierra negra la cual es fácil de conseguir.

9.2. Clasificación del tipo de cubierta

Teniendo en cuenta la identificación correspondiente de las especies a utilizar, de la asesoría suministrada por la Guía de Techos Verdes en Bogotá y de la Guía Práctica de Techos Verdes y Jardines Verticales, se debe tener en cuenta los dos tipos de clasificación que tiene una cubierta:

- **Clasificación primaria**

Para las especies nativas previamente definidas, se diseñará un techo biótico autorregulado, el cual tiene como fin propiciar las condiciones técnicas y fisiológicas óptimas para mantener la cobertura vegetal, este tipo de techo tiene como objetivo este fin, mediante el uso mínimo de materiales, inversión económica y peso. Este techo no es de uso transitable, únicamente para su respectivo mantenimiento.

- **Clasificación secundaria**

De acuerdo con la guía de techos verdes, esta clasificación corresponde al grado de robustez o peso total del techo verde ⁴⁷. Esta guía contempla tres grados de robustez, liviano, moderado y robusto, para una cubierta autorregulada liviana, esta tiene un peso en estado saturado de 80 kg/m².

⁴⁶ NATURALEZA TROPICAL. Aprende a cultivar tus plantas suculentas del género Sedum. {En línea}. {18 octubre de 2020} Disponible en: <https://naturalezatropical.com/manual-cultivo-sedum/>

⁴⁷ SDA (SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE). Guía de Techos Verdes en Bogotá. Subdirección de Ecourbanismo y Gestión Ambiental Empresarial. 2011

De acuerdo con la clasificación secundaria de las cubiertas, el peso en condición saturado para una cubierta autorregulada liviana es muy elevado para las condiciones del proyecto que se plantearon, por lo que la mejor opción para este caso es:

- Diseñar una cubierta extra liviana.
- Teniendo en cuenta las especificaciones de la cubierta seleccionada, asegurar que no haya problemas por su peso cuando estas se encuentren en condición de saturación de agua.
- La cubierta no será de uso transitable, de acuerdo con la clasificación primaria que tienen las cubiertas.

9.3. Desarrollo de un sistema constructivo sostenible

Según las clasificaciones anteriormente mencionadas, se identificó un tipo de cubierta, la cual sea fácil de ensamblar como de desmontar para su respectivo mantenimiento si así se requiere, también se tuvo en cuenta el peso de todo el sistema en su condición de saturación de agua, ya que se desea implementar una cubierta lo suficientemente liviana para una cubierta de una estación de Transmilenio.

9.3.1. Especificaciones técnicas

- **Dimensiones:** L/B/H: 50 x 50 x 10 cm.
- **Material:** Fabricado en polipropileno de alta densidad reciclado.
- **Flexibilidad:** Son adaptables a cubiertas planas, inclinadas de máximo 30° y tejas onduladas.
- **Sistema de drenaje y aireación:** El módulo cuenta con una serie de orificios en la base, el cual permite desaguar y así que no se encharque el sustrato y en los laterales tiene de igual manera unos orificios que permiten airear el sustrato.
- **Ajuste entre módulos:** Las bandejas cuentan en sus bordes superiores con un sistema de clip, el cual permite fácilmente ensamblar las bandejas y desmontarlas.
- **Sistema de riego:** El agua lluvia almacenada en sus cavidades autoabastecen la capa vegetal.

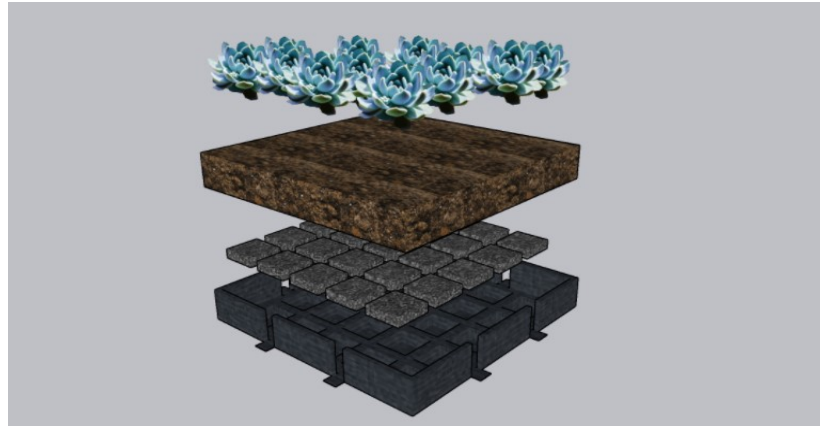
9.3.2. Rendimiento

El módulo cuenta con los siguientes datos, teniendo en cuenta todo el sistema (Vegetación, Sustrato, Lámina geotextil y Módulo):

- Peso en seco: 12 Kg/m²
- Peso en saturado de agua: 23 Kg/m²
- Retención de agua en celdas: Aproximadamente 10 L/m²

De acuerdo con las especificaciones anteriormente mencionadas, el modelo final a emplear es el siguiente:

Ilustración 45 Elementos de la bandeja



Tomado de: Fuente Propia

Ilustración 46 Modelo



Tomado de: Fuente Propia

9.4. Impacto Ambiental

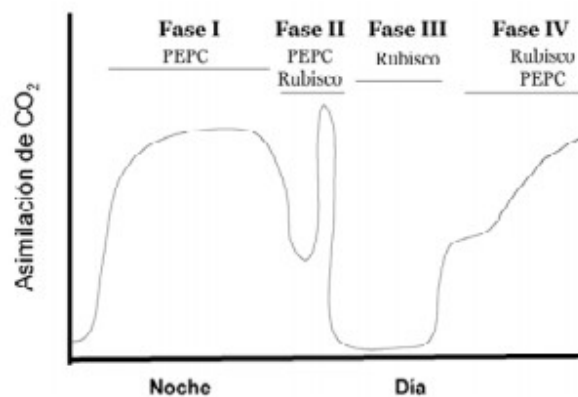
Los géneros Sedum y Kalanchoe pertenecen a la familia de crasuláceas, existen plantas de otras familias que se caracterizan por tener el mismo metabolismo ácido de las crasuláceas, estas son llamadas plantas CAM, este caso sucede con la planta de sábila, el cual en un estudio de asimilación de dióxido de Carbono ⁴⁸

⁴⁸ scielo (2010) Conductancia estomática y asimilación neta de CO2 en sábila (Aloe vera Tourn) bajo sequía

se encontró que en climas semiáridos templados, la planta es capaz de asimilar entre 521 y 625 mmol CO₂ m⁻² d⁻¹, es importante tener en cuenta que se puede absorber más contaminantes cuando se trata de zonas más húmedas, sin embargo la planta de dicho estudio es más sensible a la sequía que las usadas en este proyecto de cubiertas verdes.

En dicho estudio, se tuvieron en cuenta cuatro fases de la planta en la asimilación del CO₂, en donde la fase I corresponde a la formación de ácidos orgánicos por la noche. En la fase II, cierre estomático al inicio de entrada de luz (en algunas plantas se presenta un aumento en la conductancia estomática) y asimilación de CO₂, En la fase III los ácidos orgánicos son descarboxilados, se acumulan los azúcares y el almidón, en la fase IV, es cuando el CO₂ es fijado.

Ilustración 47 Asimilación de CO₂ de planta CAM



Tomado de: <https://www.redalyc.org/pdf/577/57708102.pdf>

Existen otros estudios de absorción de CO₂ de plantas CAM, en un estudio realizado por la Sociedad Botánica de México que busca entender el metabolismo ácido de las crasuláceas⁴⁹ se dice que las especies CAM con mayor capacidad de almacenamiento de agua pueden mantener por más tiempo la mayor asimilación de CO₂ y carbono, incluso después de 30 días de sequía, esta asimilación también depende de la radiación que reciban las plantas.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802010000400008

⁴⁹ Redalyc (2017) EL METABOLISMO ÁCIDO DE LAS CRASULÁCEAS:

Las plantas CAM fijan el CO₂ de noche, gracias a la acumulación de acidez a velocidades superiores de la que lo expulsan mediante la respiración, en el día al ser expuestas a la radiación estas disminuyen su acidez, estas habitan en regiones áridas y seca, y dado que el agua es limitada, la adaptación ha sido de crucial para su supervivencia que les ofrece una ventaja ecológica⁵⁰.

9.4.1. Estimación de absorción de contaminantes

Se decide basar la estimación en modelos de celda fija estacionaria ya que, la emisión dentro de la zona que se desee estudiar no es puntual y la contaminación depende del tráfico, Los modelos de celda fija asumen que⁵¹:

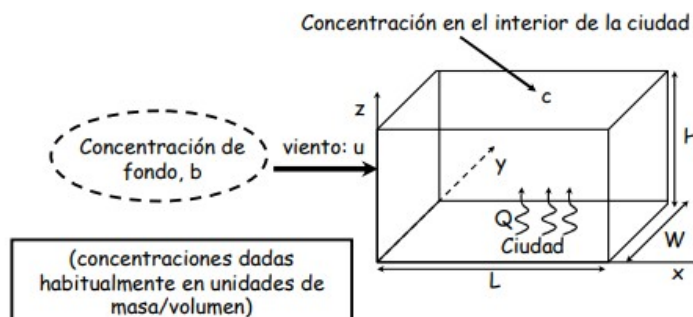
- La zona de estudio tiene dimensiones de rectángulo W y L, con uno de sus lados paralelo a la dirección del viento (L).
- La concentración de los contaminantes es homogénea
- El viento sopla con velocidad u en una sola dirección.
- El índice de emisiones por unidad de área es q.
- El índice de emisiones no cambia con el tiempo ni con el viento.
- Ningún contaminante entra o sale por los lados perpendiculares a la dirección del viento.

⁵⁰ Almez(2016) PLANTAS CON EL METABOLISMO ÁCIDO DE CRASULÁCEAS (MAC o CAM)

[http://almez.pntic.mec.es/~jrem0000/dpbg/Fotosintesis/plantas_con_el_metabolismo_acido.html#:~:text=PLANTAS%20CON%20EL%20METABOLISMO%20%C3%81CIDO%20DE%20CRASUL%C3%81CEAS%20\(MAC%20o%20CAM\)&text=Estas%20plantas%20pueden%20fijar%20el,la%20luz%20la%20acidez%20disminuye](http://almez.pntic.mec.es/~jrem0000/dpbg/Fotosintesis/plantas_con_el_metabolismo_acido.html#:~:text=PLANTAS%20CON%20EL%20METABOLISMO%20%C3%81CIDO%20DE%20CRASUL%C3%81CEAS%20(MAC%20o%20CAM)&text=Estas%20plantas%20pueden%20fijar%20el,la%20luz%20la%20acidez%20disminuye)

⁵¹ UPO, Unipamplona “MODELOS DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS”. {En línea}. {01 de noviembre de 2020} disponible en: (https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/CA_old/php/apuntesCA0607_Tema2.pdf).

Ilustración 48 Modelo de caja fija estacionaria



Tomado de:

https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/CA_old/php/apuntesCA0607_Tema2.pdf

9.4.1.1. Índice de emisiones (q)

La universidad de los andes en el año 2007 realizó un modelo de emisiones para la ciudad de Bogotá D.C. del cual encontraron las siguientes cifras:

Ilustración 49 Emisiones vehiculares en Bogotá

Categoría	Emisiones (Ton/día)				
	CO	COV	NOx	MP2.5	N ₂ O
Motos	39	24	0,7	0,4	0,0
Camión	144	7,9	12	0,3	0,01
Bus	269	18	52	2,1	0,02
VP	454	49	40	0,1	0,11
Taxi	125	8,1	8,9	0,1	0,03
Bus articulado	1,3	0,3	1,8	0,0	0,01
Alimentador	0,6	0,1	0,8	0,0	0,01
Total	1033	107	116	3	0,2

Tomado de:

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/23196/u281849.pdf?sequence=1>

Basados en dichas cifras, área promedio de cada tipo de vehículo y la cantidad por cada una de las categorías fue posible encontrar el índice para cada tipo de estas emisiones por vehículo, quedando lo siguiente:

Ilustración 50 Índice de emisiones vehiculares en Bogotá

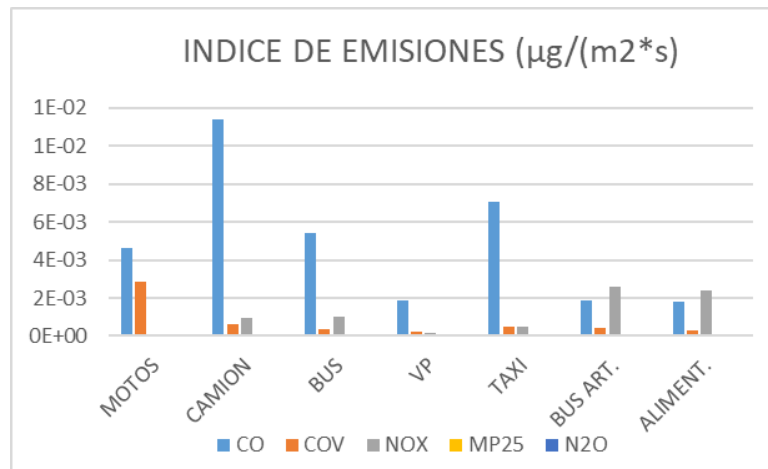
	INDICE DE EMISIONES ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)				
	CO	COV	NOX	MP25	N2O
MOTOS	7E-03	5E-03	1E-04	8E-05	0E+00
CAMION	1E-02	6E-04	9E-04	2E-05	8E-07
BUS	5E-03	4E-04	1E-03	4E-05	2E-07
VP	2E-03	2E-04	2E-04	4E-07	4E-07
TAXI	7E-03	5E-04	5E-04	6E-06	2E-06
BUS ART.	2E-03	4E-04	3E-03	0E+00	1E-05
ALIMENT.	2E-03	3E-04	2E-03	0E+00	3E-05
TOTAL	0,03675	0,00692	0,00778	0,0001478	4,8E-05

Tomado de: Fuente Propia

Normalmente se suele decir que las motos contaminan menos que los vehículos particulares lo cual es en cierta medida verdad ya que el tiempo de recorrido suele ser menor que el de un auto en atasco, más, sin embargo, el motor es más compacto y ligero para el cual los ingenieros automotrices recurren a motores de giro rápido, que quema la mezcla de oxígeno y gasolina más rápido, implicando un menor rendimiento y una mayor contaminación⁵²Lo anterior explica el alto índice de emisiones por segundo de una moto a comparación de un vehículo particular, evidenciado en el siguiente gráfico:

⁵² LARA, Gonzalo. Qué contamina más: ¿una moto o un coche? Motorpasión. {En línea}. {22 octubre de 2020}. Disponible en:
<https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/que-contamina-mas-una-moto-o-un-coche>

Ilustración 51 Índice de emisiones por vehículo



Tomado de: Fuente Propia

9.4.1.2. Dimensiones de modelo de caja fija

Para este proyecto se decide tomar el largo aproximado de un vagón sencillo y 2 metros de altura por encima del tope de la estación de Transmilenio, la velocidad del viento pertenece al promedio del año 2019 determinado por la herramienta online WeatherOnline.

Ilustración 52 dimensiones caja fija estacionaria

Dimensiones Caja fija		
L (m)	50	Largo
u (m/s)	2,7	Vel. Viento
H (m)	5,2	Altura

Tomado de: Fuente Propia

9.4.1.3. Potencial de limpieza

“Potential of Particle Matter Dry Deposition on Green Roofs and Living Walls Vegetation for Mitigating Urban Atmospheric Pollution in Semiarid Climates” es un artículo en el que se expresa en cifras la cuantificación a deposición seca de PM10 por varios tipos de vegetación de especies comúnmente usadas en estructuras verdes, en este artículo se encuentran las especies tipo sedum y kalanchoe, el cual se dice que es capaz de remover hasta el 6% de PM 10 en el área estudiada. La especie L. angustifolia hace parte de la familia lamiaceae, que

a su vez también pertenece la planta Aguja reptans con valor depositado de PM 2,5 aproximado a los 0,25 µg/cm² en una hora⁵³

En cuanto al Monóxido de carbono sustentar soluciones encontró que un paradero verde es capaz de absorber hasta 500,4 g/m² de carbono en un año (SUSTENTAR,2016) para lo cual se supuso que cada paradero de dicho proyecto tiene un área de 1,7x4,9m.

Ilustración 53 Limpieza por cubierta

Reducción por m2 de cubierta g/(m2*año)		
MP2,5	MP10	CO
21,9	6%	61,32

Tomado de: Fuente Propia

9.4.1.4. Concentración de contaminantes sobre la estación

Tomados los valores más altos de las estaciones de monitoreo como la concentración en el fondo de la caja(b), se puede evidenciar que con los índices de emisiones para uno de cada tipo de vehículo (moto, camión, Bus, V'P, taxi, bus articulado, alimentador) la concentración de contaminante sobre la estación es la misma, sin embargo, esta aumentará cuando se toma más muestra de vehículos, lo anterior fue de acuerdo con la teoría de la caja estacionaria.

$$C_{\infty} = b + \frac{qL}{uH} :$$

9.5. Cálculo de costos

Teniendo en cuenta que la cubierta de un vagón de Transmilenio está comprendida por 237.36 m² de área y con respecto a las dimensiones de las bandejas a emplear, se obtuvo lo siguiente:

⁵³ Sustainability (2018) Potential of Particle Matter Dry Deposition on Green Roofs and Living Walls Vegetation for Mitigating Urban Atmospheric Pollution in Semiarid Climates

<https://www.mdpi.com/2071-1050/10/7/2431>

Tabla 8 Datos iniciales

Área de cubierta	m2	108
Número de bandejas por vagón	un	432

Tomado de: Fuente Propia

Para la respectiva área a intervenir, se realizó una cotización de las bandejas que se necesitarían para el tamaño de este proyecto, obteniéndose lo siguiente:

Tabla 9 Cotización de las bandejas

Elementos	UND	Cantidad	Valor	IVA 19%	Subtotal	Valor final
Bandeja en polipropileno	m2	1	71700	13623	85323	9214884

Tomado de: Fuente Propia

Tabla 10 Cotización por metro cuadrado

Elementos	UND	Cantidad
Bandeja en polipropileno	m2	1
Geotextil no tejido	m2	1
Sustrato	m2	1
Capa Vegetal	m2	1
TOTAL		135000
VALOR TOTAL		14580000

Tomado de: Fuente Propia

NOTA: El total de la tabla 10 contempla todos los elementos que se instalan en la bandeja junto al transporte de estos al lugar del proyecto.

La mano de obra no está contemplada en esta cotización, ya que depende únicamente de las dimensiones del proyecto.

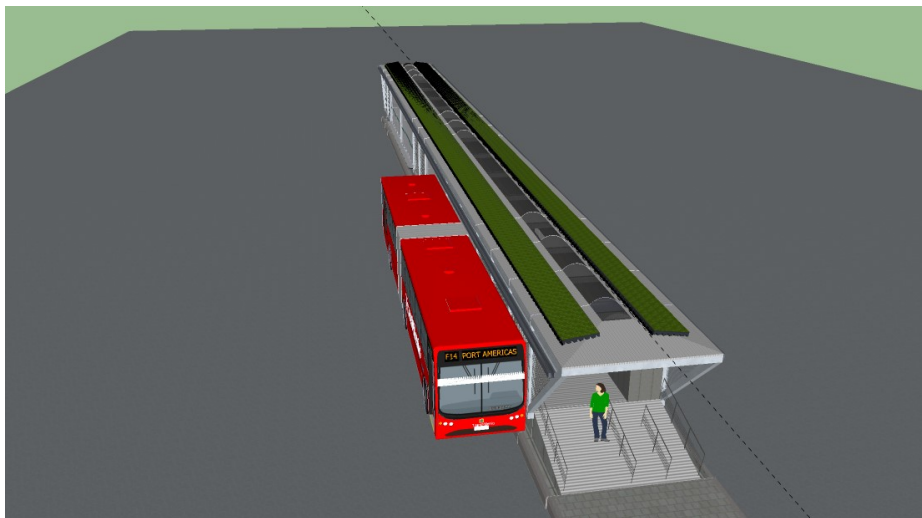
El valor total de la tabla 10 puede variar de acuerdo con la especie vegetal que se vaya a utilizar y también de acuerdo con el sustrato que se vaya a emplear

10.MODELO

Inicialmente se había pensado en que el sistema contara con un sistema de riego, el cual era una tubería con una serie de perforaciones que suministraba por goteo las raíces de las plantas, pero de acuerdo con varias recomendaciones de varias empresas especializadas en el tema, se optó por descartar la idea, ya que las propias bandejas almacenan una cantidad de agua favorable que sirven para el autoabastecimiento de las plantas.

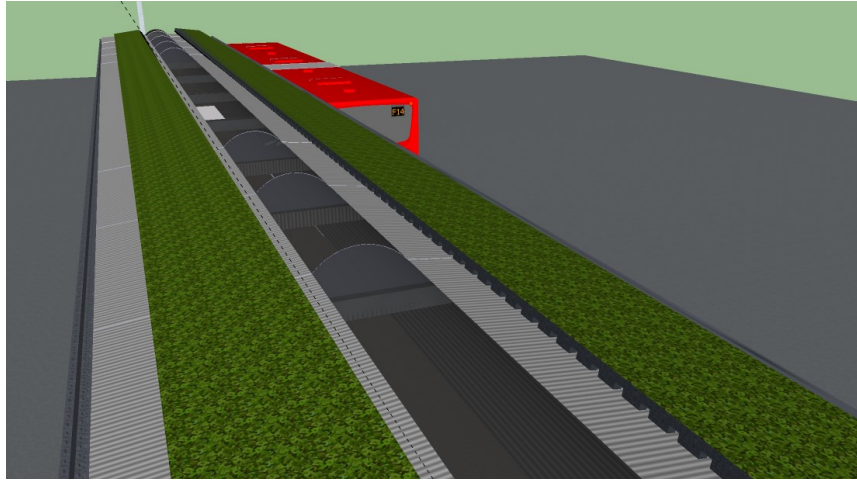
Teniendo en cuenta lo anterior y las dimensiones de las bandejas, se diseñó el modelo de estación con las cubiertas junto con las canaletas las cuales están encargadas de recoger el agua lluvia, cabe resaltar que en el ANEXO A se encuentran la vista en planta general, el alzado y el corte típico de la estación, en el cual se identifica el plano con la cubierta instalada.

Ilustración 54 Estación verde



Tomada de fuente propia

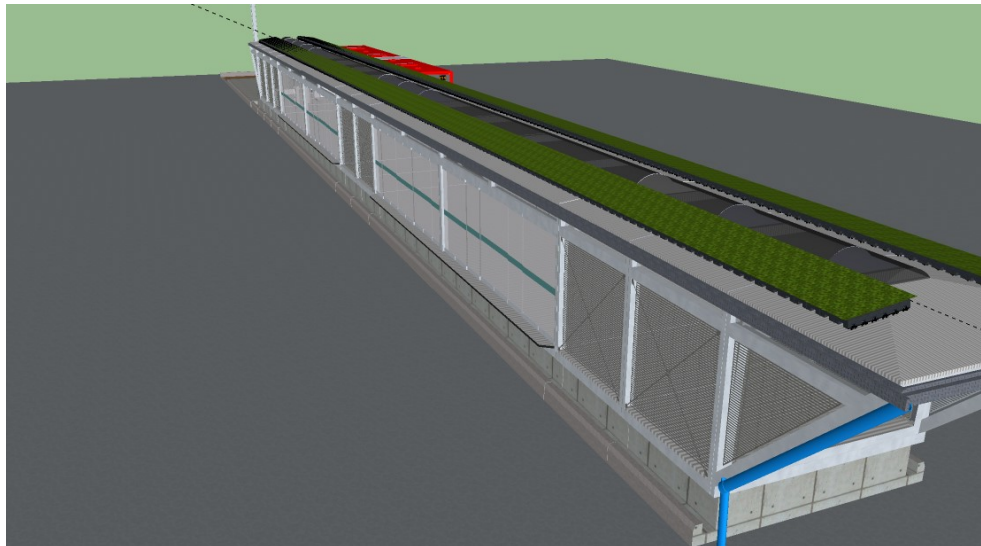
Ilustración 55 Estación verde superior



Tomada de fuente propia

En cuanto al uso del agua lluvia, la estación cuenta con canal a lado y lado de la parte superior de la estación que recogerá el agua y será dirigida a la parte trasera del vagón, para posteriormente dirigirla por medio de una tubería hacia un tanque ubicada en la zona baja de la estación, este tanque servirá para abastecer la estación de agua para limpieza o uso sanitario.

Ilustración 56 Estación verde atrás



Tomada de fuente propia

11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Ilustración 57 Cronograma-Elaborada por autores

No.	Actividad	Inicia	Finaliza	21-jul	27-jul	03-ago	10-ago	17-ago	24-ago	31-ago	07-sep	14-sep	21-sep	28-sep	05-oct	12-oct	19-oct	26-oct	02-nov
1	Recopilación de información para identificar microclimas y sus características en Bogotá D.C.	21-jul	27-jul	■	■														
2	Recopilación de información de especies vegetales para cubiertas.	27-jul	03-ago		■	■													
3	Recopilación de información de sistemas de cubiertas verdes a nivel nacional e internacional	03-ago	10-ago			■	■												
4	Establecer la cubierta para el lugar específico de acuerdo a la información recopilada (Estación Av. Jiménez)	10-ago	17-ago				■	■											
5	Diseño de Cubierta vegetal	17-ago	31-ago					■	■	■									
6	Diseño de sistema de drenaje y manejo de aguas	31-ago	21-sep						■	■	■	■							
7	Determinar el mantenimiento que debe tener la cubierta	21-sep	28-sep									■	■						
8	Análisis de costos	28-sep	08-oct											■	■				
9	Cálculo de la cantidad aproximada de CO2 que podría absorber este diseño.	05-oct	12-oct												■	■			
10	Determinar falencias y ventajas de este diseño	12-oct	19-oct													■	■		
11	Análisis y Conclusiones	19-oct	26-oct														■	■	
12	Correcciones	Nov																	■

Tomado de: Fuente Propia

12. PRODUCTOS A ENTREGAR

Tabla 11 Productos a entregar

PRODUCTOS A ENTREGAR		
TIPO	Nombre del producto	Fecha de entrega
Documento de trabajo de grado	Diseño de cubiertas verdes en estaciones de Transmilenio S.A. de acuerdo con la zonificación climática	Nov 2020
Diseños	Diseño de cubierta verde de la estación Av. Jiménez	Nov 2020
Prototipo (Dependiente de la contingencia nacional)	Prototipo de cubierta verde como sistema combinado para la estación Av. Jiménez	Nov 2020

Tomado de: Fuente Propia

13. INSTALACIONES Y EQUIPO REQUERIDO

13.1 Instalaciones

- Salas de informática de la Universidad Católica de Colombia.
- Laboratorios para ensayo de materiales e Hidráulica (Dependiente de la contingencia nacional)

13.2 Equipo requerido

- Salas de informática
 - I. Sketchup
 - II. Microsoft Office
 - III. Autocad
 - IV. Epanet (Dependiente de la contingencia nacional)
- Laboratorio de Hidráulica (Dependiente de la contingencia nacional)
 - I. Canal rectangular.
 - II. Sistema de tuberías en serie y en paralelo.
- Laboratorio de materiales (Dependiente de la contingencia nacional)
 - I. Máquinas de ensayo para calificar los estándares de calidad de materiales.

14. ANALISIS Y CONCLUSIONES

- Se diseñó un sistema de cubierta verde para la ciudad de Bogotá, en 4 casos de estudio que son las estaciones de Transmilenio de las calles 45, 100, estación Bosa y finalmente para la estación de la AV. Jiménez, y se evidencio que presenta beneficios en cuanto a las depuraciones de las emisiones atmosféricas.
- Se identificaron y caracterizaron el tipo de especies vegetales óptimas para la implementación en cubiertas verdes en la ciudad de Bogotá, considerando el tipo de microclimas con las que cuenta la ciudad.
- De acuerdo con la naturaleza del proyecto, se clasificó el tipo de cubierta a usar, teniendo en cuenta el uso que se le va a dar a está como también las especies previamente definidas, dando así lugar a una cubierta extra liviana.
- En este proyecto se asume que en la caja se encuentra uno de cada tipo de vehículo por lo que se logró determinar que cada m² de cubierta es capaz de limpiar más MP_{2,5} que lo que produce este grupo, como se evidencia en la *ilustración 53*, el índice de contaminación total (con reducción por planta) es negativo, es decir que se elimina casi 6 veces el índice de contaminación perteneciente al grupo.

A medida que el índice de contaminación (q) aumenta, la contaminación sobre la estación es mayor, y la disminución de PM_{2,5} por parte de las plantas por m² es menos significativa pues el índice total de contaminación vuelve a ser positivo. Sin embargo, hay que ver que se está eliminando casi 6 grupos de tipo de vehículos que pasen por la caja en un año por m² de cubierta en MP_{2,5}.

Ilustración 58 Concentración e índice de contaminación

Estimación de contaminante en caja fija								
	ESTACIÓN AV. JIMENEZ		Calle 45 y 100			SUBA		
	MP25	MP10	MP25	MP10	CO	MP25	MP10	CO
q µg/(m ² *s)	1,19E-04	3,17E-08	1,19E-04	3,17E-08	0,03	1,19E-04	3,17E-08	0,03
b (µg/m ³)	25,10	40,2	40,5	61,4	2138	49	93,2	1126,4
C(µg/(m ³)	25,10	40,20	40,50	61,40	2138,12	49,00	93,20	1126,52
q(g/(m ² *año)	4	1,00E-03	3,76E+00	1,00E-03	1,07E+03	3,76E+00	1,00E-03	1,07E+03
TOTAL q	-18	9,43E-04	-18,136	0,00094	1010,23	-18,136	9,43E-04	1010,23

Tomada de fuente propia

- En cuanto a MP10 la planta es capaz de retener el 6% de contaminante como se dijo anteriormente, en las estaciones calle 45 y calle 100 los niveles de contaminación por PM 10 sobre la cubierta son más bajos que en la estación suba, lo que indica la necesidad por plantar mas m2 de cubiertas verdes en suba, ya que aunque los niveles de CO son más altos para la estación en la estacion calle 100 y calle 45, las plantas tienen un mayor impacto sobre el contaminante MP10.
- En cuanto al monoxido de carbono se encontró que las plantas podrían limpiar alrededor de un 6% el grupo de vehiculos (moto, camión, Bus, V´P, taxi, bus articulado, alimentador) en la estación calle 45 y calle 100 por m2 de cubierta verde, pues si se plantan 18 m2 se estaría limpiando todo el grupo en un año dentro de la caja estacionaria.
- Si se crearan 1800m2 de cubierta de Transmilenio en Bogotá se limpiaría alrededor de 100 grupos de vehículos (moto, camión, Bus, V´P, taxi, bus articulado, alimentador) en monóxido de carbono y 10800 grupos en MP2,5 en un año.

15. RECOMENDACIONES

- Para próximas investigaciones, se recomienda poder llevar a cabo un análisis comparativo entre diferentes sistemas que puedan ofrecer la limpieza de la atmosfera, para así tener varias alternativas para el problema del cambio climático.
- De acuerdo con la caracterización de las plantas en Colombia, para la limpieza del aire, fue muy complejo obtener información, ya que se carece de esta.
- Para el cálculo de los costos que tienen este tipo de sistemas, se recomienda ponerse en contacto con empresas especializadas en el tema, ya que este es otro tema del cual la información es muy precaria.
- De acuerdo con el tipo de cubiertas, de igual manera seria recomendable poder llevar a cabo un análisis comparativo para así poder tener una variedad de cubiertas y...

16. BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía de Bogotá. (1994). *Decreto 322 de 1994 Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C.*
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=2108&dt=S>

Alcaldía de Bogotá. (1996). *Acuerdo 19 de 1996 Concejo de Bogotá D.C.*
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=506>

Alcaldía de Bogotá. (2008). *Decreto 456 de 2008 Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C.*
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=34284&dt=S>

Alcaldía de Bogotá. (2012). *Resolución 6562 de 2011 Secretaría Distrital de Ambiente.*
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=45256&dt=S>

Almez(2016) PLANTAS CON EL METABOLISMO ÁCIDO DE CRASULÁCEAS (MAC o CAM)

[http://almez.pntic.mec.es/~jrem0000/dpbg/Fotosintesis/plantas_con_el_metabolismo_acido.html#:~:text=PLANTAS%20CON%20EL%20METABOLISMO%20%20C3%81CIDO%20DE%20CRASUL%20%20C3%81CEAS%20\(MAC%20o%20CAM\)&text=Estas%20plantas%20pueden%20fijar%20el,la%20luz%20la%20acidez%20disminuye](http://almez.pntic.mec.es/~jrem0000/dpbg/Fotosintesis/plantas_con_el_metabolismo_acido.html#:~:text=PLANTAS%20CON%20EL%20METABOLISMO%20%20C3%81CIDO%20DE%20CRASUL%20%20C3%81CEAS%20(MAC%20o%20CAM)&text=Estas%20plantas%20pueden%20fijar%20el,la%20luz%20la%20acidez%20disminuye)

Ardila, G. (2011). *Los principales problemas ambientales.*
<https://razonpublica.com/los-principales-problemas-ambientales/>

Ballesteros, E. A., Montealegre, E. L., Zambrano, D. L., Ortiz, E. Y., & Arango, C. D. (2020). *Informe Anual de Calidad del aire de Bogota 2019 Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá RMCAB.* 1–201.

CHRYSANTHIS, Panos., RAGHURAM, S., & RAMAMRITHAM, Krithi. Extracting concurrency from objects: A methodology. En: *Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, Vol 61702. (1991). Pág. 108–117.

CONCEJO DE BOGOTÁ. *Bogotá: Entre las Ciudades con Mayor Riesgo por el Cambio Climático.* {En línea}. {8 septiembre de 2020} Disponible en (<http://concejodebogota.gov.co/bogota-entre-las-ciudades-con-mayor-riesgo-por-el-cambio-climatico/cbogota/2019-02-21/143027.php>)

DAVIS, Maks., RAMIREZ, F., & PÉREZ, M. E. More than just a Green Façade: Vertical Gardens as Active Air Conditioning Units. En: *Procedia Engineering*, Vol145. (2016). Pág.1250–1257.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (2006, 7 de diciembre). *Estrategia para el manejo ambiental de la cuenca Ubaté - Suarez* (Documento CONPES 3451). Bogotá D.C; Colombia: DNP

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (2018, 16 de enero). *Lineamientos de política y estrategias para el desarrollo regional sostenible del Macizo Colombiano*. (Documento CONPES 3915). Bogotá D.C; Colombia: DNP

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (2014, 31 de enero). *Manejo Ambiental Integral de la Cuenca Hidrográfica del Lago de Tota*. (Documento CONPES 3801). Bogotá D.C; Colombia: DNP

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (2018, 10 de julio). *Política de Crecimiento Verde* (Documento CONPES 3934). Bogotá D.C; Colombia: DNP

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (2018, 31 de julio). *Política para el Mejoramiento de la Calidad del Aire*. (Documento CONPES 3943). Bogotá D.C; Colombia: DNP

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (2014, 13 de febrero). *Política para la Preservación del Paisaje Cultural Cafetero de Colombia*. (Documento CONPES 3803). Bogotá D.C; Colombia: DNP

EL Espectador. (2017). *Denuncian tala irregular de árboles en Cerros Orientales de Bogotá*. <https://www.elspectador.com/noticias/bogota/denuncian-tala-irregular-de-arboles-en-cerros-orientales-de-bogota-articulo-689809>

El Tiempo. (2020). *Calidad del aire, un dolor de cabeza para las capitales de Colombia*. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/calidad-del-aire-en-colombia-asi-esta-la-alerta-en-las-capitales-462820>

Flor de planta (2017) *Consuelda media (Ajuga reptans): Características y cultivo* <https://www.flordeplanta.com.ar/plantas/consuelda-media-ajuga-reptans-caracteristicas-y-cultivo/>

GOLASZ-SZOŁOMICKA, Hanna., & SZOŁOMICKI, Jerzy. Vertical Gardens in High-Rise Buildings - Modern Form of Green Building Technology. En: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol 603(2). (2019).

Pág. 2-11.

IDEAM. (2007). *Estudio de la caracterización climática de Bogotá y Cuenca Alta del Río Tunjuelo*. http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=17806&shelfbrowse_itemnumber=18790

IPCC (Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático). Cambio climático 2013, bases físicas: Resumen para responsables de políticas. {En línea}. {13 agosto de 2020}. Disponible en (https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf)

KHOTBEHSARA, Elam., DAEMEI, Abdollah., & MALEKJAHAN, Farzaneh. Simulation study of the eco green roof in order to reduce heat transfer in four different climatic zones. En: *Results in Engineering*, 2(February), Vol 8. (2019). ISSN 2590-1230

LARA, Gonzalo. Qué contamina más: ¿una moto o un coche? Motorpasión. {En línea}. {22 octubre de 2020}. Disponible en: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/que-contamina-mas-una-moto-o-un-coche>

LOTFI, Yomna, REFAAT, Mohammed., El Attar, Mohammed., & ABDEL SALAM, Aaseem. Vertical gardens as a restorative tool in urban spaces of New Cairo. En: *Ain Shams Engineering Journal*. Vol 11. (2020). Pág. 839-848.

NACIONES UNIDAS. (2016). Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 21^{er} período de sesiones, celebrado en París del 30 de noviembre al 13 de diciembre de 2015. {En línea}. {23 de 2020}. Disponible en (<http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/l09s.pdf>)

NATURALEZA TROPICAL. Aprende a cultivar tus plantas suculentas del género Sedum. {En línea}. {18 octubre de 2020} Disponible en: <https://naturalezatropical.com/manual-cultivo-sedum/>

NOTICIAS CARACOL. ¡Caos total! Top cinco de las estaciones y portales de Transmilenio con mayor demanda de usuarios. {En línea}. {19 octubre de 2020} Disponible en: <https://noticias.caracol.tv.com/bogota/caos-total-top-cinco-de-las-estaciones-y-portales-de-transmilenio-con-mayor-demanda-de-usuarios-ie26636>

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE. *Informe Anual de Calidad del aire de Bogotá 2019 Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá RMCAB*.

(2020).

SDA (SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE). Guía de Techos Veredes en Bogotá. Subdirección de Ecorbanismo y Gestión Ambiental Empresarial. 2011

ONU. Cambio climático. {En línea}. {12 septiembre de 2020} Disponible en: (from <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>)

ONU. Objetivos De Desarrollo Sostenible. Objetivo 11 - Ciudades y comunidades sostenibles. 2020

OMS. 10 datos sobre el cambio climático y la salud. {En línea}. {12 septiembre de 2020} Disponible en: https://www.who.int/features/factfiles/climate_change/es/

RCN radio. Top 10 de estaciones de Transmilenio con más usuarios al día. {En línea}. {15 octubre de 2020} Disponible en <https://www.rcnradio.com/bogota/top-10-de-estaciones-de-transmilenio-con-mas-usuarios-al-dia>

Política para el mejoramiento de la calidad del Aire, Abel, G., & Flórez, R. (2018). *CONPES*. 86.

RCN radio (2018) Top 10 de estaciones de TransMilenio con más usuarios al día

<https://www.rcnradio.com/bogota/top-10-de-estaciones-de-transmilenio-con-mas-usuarios-al-dia>

Redalyc (2017) EL METABOLISMO ÁCIDO DE LAS CRASULÁCEAS:

Red Colombiana de infraestructura verde. (n.d.). *RESPALDO INTERNACIONAL*. <http://recive.org/about-us/>

Ricardo Andrés Ibáñez Gutiérrez. (2008). *Techos vivos extensivos una práctica sostenible por descubrir e investigar en Colombia*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3195349>

RM CAB. (2019a). *Informe Mensual de Calidad del Aire de Bogotá Abril*. 87.

RM CAB. (2019b). *Informe Mensual de Calidad del Aire de Bogotá Agosto*. 519. https://drive.google.com/file/d/0B8D2_Q6wgqIRTzdGaW9Fdk9VUE0/view?us

p=sharing

RM CAB. (2019c). *Informe Mensual de Calidad del Aire de Bogotá Diciembre*. 87.

RM CAB. (2019d). *Informe Mensual de Calidad del Aire de Bogotá Enero*. 87.

RM CAB. (2019e). *Informe Mensual de Calidad del Aire de Bogotá Febrero*. 87.

RM CAB. (2019f). *Informe Mensual de Calidad del Aire de Bogotá Julio*. 519.
https://drive.google.com/file/d/0B8D2_Q6wgqIRTzdGaW9Fdk9VUE0/view?usp=sharing

RM CAB. (2019g). *Informe Mensual de Calidad del Aire de Bogotá Junio*. 87.

RM CAB. (2019h). *Informe Mensual de Calidad del Aire de Bogotá Marzo*. 87.

RM CAB. (2019i). *Informe Mensual de Calidad del Aire de Bogotá Noviembre*. 87.

RM CAB. (2019j). *Informe Mensual de Calidad del Aire de Bogotá Octubre*. 87.

RM CAB. (2019k). *Informe Mensual de Calidad del Aire de Bogotá Septiembre*. 87.

RM CAB. (2019l). *Informe Mensual de Calidad del Aire en Bogotá Mayo*. 1–31.
<http://oab2.ambientebogota.gov.co/es/documentacion-e-investigaciones/resultado-busqueda/informe-mensual-calidad-del-aire-rmcab-marzo-2018>

Scielo (2010) Conductancia estomática y asimilación neta de CO₂ en sábila (Aloe vera Tourn) bajo sequía

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802010000400008

TIRADO BLÁZQUEZ, María. Cambio climático y salud. Informe SESPAS. En: *Gaceta Sanitaria*, Vol 24. (2010). Pág. 78–84.

Universidad Militar (2014) EVALUACIÓN Y PRE-DISEÑO DE CUBIERTAS VERDES PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN LA UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA: UNA PERSPECTIVA DESDE UNIVERSIDAD SALUDABLE

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11478/Evaluaci%C3%B3n%20y%20predise%C3%B1o%20de%20techos%20verdes.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Secretaría de Ambiente. (2015). *Guía de techos verdes y jardines verticales*.
https://issuu.com/sda2015/docs/gu__a_de_techos_verdes_y_jardines_v_f4988c2a8cc627

Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2002). *Resolución 2888 de 2005 Ministerio de Transporte*. Diario Oficial 48242 Del 3 de Noviembre de 2011.
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=17985#2>

Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2006). *Acuerdo 248 de 2006 Concejo de Bogotá D.C.* Diario Oficial 48242 Del 3 de Noviembre de 2011.
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=22235&dt=S>

Secretaría de movilidad de Bogota. (2020). *Alerta amarilla por la calidad del aire en Bogotá*.
https://www.movilidadbogota.gov.co/web/noticia/alerta_amarilla_por_la_calidad_del_aire_en_bogota

Sustainability (2018) Potential of Particle Matter Dry Deposition on Green Roofs and Living Walls Vegetation for Mitigating Urban Atmospheric Pollution in Semiarid Climates

<https://www.mdpi.com/2071-1050/10/7/2431>

SUSTENTAR (2016) 7 años de paraderos verdes

<https://register.gotowebinar.com/recording/recordingView?webinarKey=3450652724224403979®istrantEmail=iccv%40yahoo.com>

Tirado Blázquez, M. C. (2010). Cambio climático y salud. Informe SESPAS 2010. *Gaceta Sanitaria*, 24(SUPPL. 1), 78–84.
<https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2010.10.004>

Universidad Católica de Colombia. (2016). *IMPACTOS AMBIENTALES PRODUCIDOS POR EL USO DE MAQUINARIA EN EL SECTOR DE LA*

CONSTRUCCIÓN.

[https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/12566/4/IMPACTOS AMBIENTALES PRODUCIDOS POR EL USO DE MAQUINARIA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/12566/4/IMPACTOS%20AMBIENTALES%20PRODUCIDOS%20POR%20EL%20USO%20DE%20MAQUINARIA%20EN%20EL%20SECTOR%20DE%20LA%20CONSTRUCCIÓN.pdf)

UPO, Unipamplona “MODELOS DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS”. {En línea}. {01 de noviembre de 2020} disponible en: (https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/CA_old/php/apuntesCA0607_Tema2.pdf).

ACEVEDO ROMERO, Juan APOYO EN LA ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO E INDICADORES DE TECHOS VERDES Y JARDINES VERTICALES Y ESTABLECIMIENTO DE PARCELAS DEMOSTRATIVAS PARA EVALUAR LA ADAPTABILIDAD DE ESPECIES COMO COBERTURAS EN ESTE TIPO DE TECNOLOGÍAS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, 2016, Universidad distrital.

WORLD GREEN INFRASTRUCTURE NETWORK “HISTORY”. {En línea}. {01 de ABRIL de 2020} disponible en: (<https://worldgreeninfrastructurenetwork.org/page.php?id=17&parent=81>).

ANEXO A



VAGÓN W-1
48 METROS
ANCHO DE 5 METROS
PLANTA GENERAL
ALZADO Y CORTE TÍPICO

DISEÑADORES:

JUAN FELIPE TINJACA
UTIMA.....506920

ANDRÉS FELIPE RAMÍREZ
QUIROZ.....506906

FECHA:
OCTUBRE DE 2020

PLANCHAS:

01
DE
01